



**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR TEMBAGA(CU) PADA SIFAT
MEKANIK PENGECORAN SEPATU REM BERBAHAN DASAR
ALUMINIUM PADUAN (A6061)**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Rangka Memenuhi Penyusunan Studi

Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin

Oleh :

HUSNI FAUZAN

NPM. 6416500046

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

2020

PERSETUJUAN

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR TEMBAGA(CU) PADA SIFAT
MEKANIK PENGECORAN SEPATU REM BERBAHAN DASAR
ALUMINIUM PADUAN (A6061)**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dipertahankan dihadapan sidang Dewan

Penguji Skripsi Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal

Pembimbing I

16/2021
2



Rusnoto, ST., M.Eng
NIPY.14054121974

Pembimbing II



Drs. Drajat Samyono, MT
NIPY. 20962771957

HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan Sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik
Universitas Pancasakti Tegal

Pada Hari : ...Kamis

Tanggal : 18 Februari 2021

Penguji I

Rusnoto, ST, M.Eng
NIPY. 14054121974



Penguji II

Ir. Soebyakto, MT.
NIPY. 1946321960



Penguji III

Hj. Siswiyanti, ST.,MT
NIPY. 12551341974



Disahkan
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Pancasakti Tegal

(Dr. Agus Wibowo, ST, MT)
NIPY. 126518101972

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO

- ❖ Disetiap keberhasilan seorang anak yang berhasil disitulah ada doa seorang ibu yang dijawab oleh Allah SWT.
- ❖ Seorang manusia tidak akan memperoleh sesuatu selain apa yang telah diusahakannya
- ❖ Satu-satunya cara untuk melakukan pekerjaan yang hebat adalah dengan mencintai apa yang kamu lakukan.
- ❖ Tiap kesuksesan membutuhkan kerja keras dan doa.
- ❖ Genggamlah dunia sebelum dunia menggenggammu.
- ❖ Setiap kesulitan pasti ada kemudahan, setiap masalah pasti ada solusi.

Think Positive

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada :

- ❖ Ibu dan Ayah yang selalu memberi motivasi dan semangat serta atas doa dan dukungan yang tak dapat diungkapkan dengan kata-kata.
- ❖ Seseorang yang saya sayangi Rizkianti Shinta Putri , terima kasih atas dorongan, dukungan, dan kasih sayang yang telah diberikan kepadaku sampai Tugas Akhir ini selesai
- ❖ Teman-teman selalu memberi semangat serta dukungan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
- ❖ Seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR TEMBAGA(CU) PADA SIFAT MEKANIK PENGECORAN SEPATU REM BERBAHAN DASAR ALUMINIUM PADUAN (A6061)”** ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak akan melakukan penjiplakan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini saya siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau ada klaim lain terhadap pihak lain dengan keaslian karya saya ini.

Tegal, 26 *februari* 2021

Yang membuat pernyataan



Husni Fauzan

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucap

kan kehadiran ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini guna memenuhi sebagai tugas persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana pada program studi Teknik Mesin S1 Universitas Pancasakti Tegal. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaatnya di yuamil akhir nanti, amin.

Keberhasilan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, nasehat dan saran dari berbagai pihak, sehingga penulis dapat mengatasi kesulitan yang dihadapi. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST.MT Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.
2. Bapak Rusnoto. ST.,M.Eng Selaku Dosen Pembimbing I yang selalu meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan sarannya selama ini.
3. Drs. Drajat Samyono, MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, petunjuk, dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Segenap Dosen dan Staff Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.

5. Bapak dan Ibu yang tak pernah lelah mendoakan serta memberi motivasi dan semangat.
6. Teman-teman seperjuangan Fakultas Teknik.
7. Pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi peneliti dan pembaca.

Penulis sadar bahwa skripsi ini tentunya tidak lepas dari bnyaknya kekurangan, baik dari aspek kualitas maupun kuantitas dari bahan penelitian yang dipaparkan. Semua ini murni didasari oleh keterbatasan yang dimiliki penulis. Oleh sebab itu penulis membutuhkan kritik dan saran kepada segenap pembaca yang bersifat membangun untuk lebih meningkatkan kualitas dikemudian hari.

Harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberi manfaat kepada semua pembaca, khususnya dibidang teknik material.

ABSTRAK

Husni Fauzan, 2021 **“PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR TEMBAGA (CU) PADA SIFAT MEKANIK PENGECORAN SEPATU REM BERBAHAN DASAR ALUMINIUM PADUAN (AL6061)”** Laporan Proyek Akhir Jenjang Strata I, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi tembaga pada aluminium untuk pembuatan sepatu rem terhadap uji kekerasan, uji tarik dan struktur mikro.

Dalam penelitian ini menggunakan variasi tembaga 2%, 3%, 4%, kemudian untuk pembandingan penelitian, menggunakan spesimen orisinil sepatu rem buatan perusahaan. Proses pembuatan sepatu rem menggunakan sistem pengecoran dengan pembuatan cetakan sepatu rem terlebih dahulu kemudian melakukan peleburan aluminium dan dituangkan kedalam cetakan.

Hasil penelitian menunjukkan pengujian kekerasan yang diperoleh pada pembuatan sepatu rem tertinggi adalah pada variasi campuran 4% yaitu sebesar 66,53 Kg/mm², sedangkan nilai uji kekerasan terendah pada variasi 3% yaitu sebesar 59,99 N/mm². Kemudian uji tarik variasi 2% memiliki nilai terbesar yaitu sebesar 100,6 Mpa sedangkan kekuatan tarik terendah pada variasi 4% yaitu sebesar 74,14 Mpa, adapun hasil uji visual struktur mikro yang sudah dilakukan dapat diamati untuk spesimen orisinil memiliki permukaan berwarna hitam dan memiliki tekstur kepadatan yang sedang, untuk spesimen dengan paduan variasi 2% 3% 4% Rata-rata memiliki warna hitam yang cukup merata. Variasi Al-Cu 4% memiliki kepadatan struktur yang cukup baik dan lebih merata.

Kata kunci : Pengecoran, Kekerasan, Struktur Mikro, Tarik, Sepatu Rem

ABSTRACT

Husni Fauzan, 2021 "effects of adding copper (cu) elements to the mechanical casting of alloy based aluminum brake shoes (AL6061)". Final project report from wata I, engineering faculty of engineering university pancasakti tegal.

The purpose of this study is to know how copper variations in aluminum affect brake shoes against violent tests, drag tests and micro-structures

In this study involved copper variations 2%, 3%, 4%, then for research comparisons, using a company's custom-made, onisinil specimen of brake shoes. The process of producing brake shoes involves a corrugated brake shoe system first and then an aluminum finish and is poured into the mold

Research shows a test of the violence obtained in the construction of the highest brake shoe results in a 44% alloy of 66.53 kg /mm², whereas the lowest value of violence test on the 3% is 59.99 n /mm². Then the 2% variation test had the greatest value of 100.6 mpa whereas the lowest drag force on a variation of 4% was 74.14 mpa, as the results of the visual microstructure that was already done could be observed for the original specimen to have a black surface and to have a moderate density texture, for the specimen with a combination of variations 2% 3% 4% has a pretty good and more evenly distributed structural density.. Variation Al-Cu 4% Have a fairly good density of structure and more evenly.

Keywords: casting, hardness, micro structure, attraction, Brake shoes

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN.....	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN.....	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN	iv
PRAKATA	vi
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Batasan Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Dan Manfaat Penelitian	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Landasan Teori	8
2.1.1 Aluminium.....	8
2.1.2 Paduan Aluminium	10
2.1.3 Aluminium 6061	12

2.1.4 Tembaga	13
2.1.5 Pengecoran Logam	15
2.1.6 Proses Pembuatan Cetakan	16
2.1.7 Proses Pngecoran Logam.....	18
2.1.8 Heat Treatment	20
2.1.9 Sepatu Rem Sepeda Motor	22
2.1.10 Karakteristik Material.....	26
2.1.11 Pengujian Tarik.....	28
2.1.12 Pengujian Kekerasan	31
2.1.13 Pengujian Mikro Struktur	38
2.2 Tinjauan Pustaka	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1 Metode Penelitian	45
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	45
3.3 Variabel Penelitian	46
3.4 Alat dan Bahan.....	47
3.5 Prosedur Penelitian.....	52
3.6 Metode Analisa Data.....	55
3.7 Diagram Alir Penelirian	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Hasil Penelitian	59
1. Uji komposisi RAW Material	59
2. Pengujian kekerasan.....	60
3. Pengujian kekuatan tarik	64
4. Pengujian foto mikro.....	67
4.2 Pembahasan.....	71
BAB V PENUTUP	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN.....	7

DAFTAR GAMBAR

2.1 Diagram Fasa Al-Cu	21
2.2 Sepatu Rem Motor	23
2.3 Letak Sepatu Rem	25
2.4 Skema Pengujian Tarik	28
2.5 Alat Uji Kekerasan.....	17
2.6 Indentor Kekerasan Brinell	33
2.7 Skematik Metode Vickers	38
4.1 Gambar Pasir Cetak.....	48
4.2 Gambar Kowi.....	49
4.3 Gambar Pengaduk (<i>stir cast</i>).....	49
4.4 Gambar Timbangan Digital.....	50
4.5 Gambar Thermocouple.....	50
4.6 Gambar Gergaji Tangan	51
4.7 Gambar Aluminium	52
4.8 Gambar Tembaga	52
4.9 Gambar Diagram Alir Penelitian	58
4.1 Gambar Grafik Pengujian Kekerasan	63
4.2 Gambar Grafik Pengujian Tarik	66
4.3 Gambar Foto Mikro Sepatu Rem Sepeda Motor	68
4.4 Gambar Foto Mikro Raw Material.....	68
4.5 Gambar Foto Mikro Al+Cu 2%	69
4.6 Gambar Foto Mikro Al+Cu 3%	69
4.7 Gambar Foto Mikro Al+Cu 4%	70

DAFTAR TABEL

2.1 Sifat Mekanik Aluminium	9
2.2 Komposisi Al 6061	13
2.3 Karakteristik Uji Kekerasan.....	32
2.4 Skala Kekerasan Rockwell.....	38
3.1 Jadwal Penelitian.....	46
3.2 Titik Lebur Logam	54
3.3 Tabel Uji Mikro.....	55
3.4 Pengujian Kekerasan	56
3.5 Uji Tarik.....	57
4.1 Komposisi Kimia Sepatu rem	59
4.2 Hasil Pengujian Kekerasan	61
4.3 Hasil Pengujian Tarik.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Sejarah pengecoran dimulai ketika orang mengetahui bagaimana mencairkan logam dan bagaimana membuat cetakan. Hal itu terjadi kira-kira tahun 4.000 SM. Menurut Surdiadan Chijiwa (1980), pengecoran logam merupakan proses membuat benda coran, yang mana coran dibuat dari logam yang dicairkan, dituang dalam cetakan, kemudian dibiarkan sampai dingin dan membeku.

Pada abad ke-20, perkembangan industri material sangat berkembang pesat sejalan dengan berkembangnya teknologi maupun kebutuhan manusia. Terobosan material baru sangat dibutuhkan di era modern saat ini, seiring dengan hal tersebut banyak peneliti maupun ilmuwan saling bersaing untuk mendapatkan material yang baik dan mampu memperpanjang masa pakai serta kinerja dari benda tersebut. Salah satu bahan yang paling banyak dipakai pada perusahaan saat ini adalah aluminium paduan. Pada umumnya material memiliki keterbatasan untuk mencapai kombinasi yang sempurna, baik dari segi kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan kepadatan dengan penambahan unsur paduan dapat meningkatkan sifat mekanisnya. Surdia dan Saito (2000) menyatakan bahwa unsur-unsur paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium tanpa dilakukan perlakuan panas

yaitu magnesium (Mg), silikon (Si), dan mangan (Mn) tetapi unsur Mn memiliki kelarutan maksimal 1,82% pada suhu 500°C sedangkan dengan penambahan unsur tembaga (Cu) dan seng (Zn) dapat meningkatkan sifat mekanik melalui proses heat treatment pada paduan aluminium.

Aluminium paduan tipe 6061 (AL-Mg-Si) termasuk dalam jenis paduan yang dapat diperlakukan panas dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup baik. Paduan seri magnesium silika Mg_2Si . Paduan ini mengandung sejumlah kecil silikon dan magnesium, biasanya kurang dari 1%, paduan ini juga terdapat mangan, tembaga, seng dan paduan chromium yang sedikit. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul. Alloy 6061 dengan kelebihan bahan silikon memang banyak digunakan untuk membuat berbagai suku cadang mobil-mobil Eropa, khususnya untuk suku cadang panel luar mobil. Aluminium jenis ini memiliki kekuatan sedang, kemampuan dibentuk, kemampuan las, dan ketahanan korosi yang sangat baik.

Sepatu rem merupakan komponen yang relatif awet, jarang ditemukan kerusakan pada sepatu rem. Sepatu rem dibuat dari ADC12, yaitu paduan antara Al-Si. ADC12 digunakan sebagai sepatu rem karena ADC12 memiliki keunggulan yaitu cukup ringan, tahan terhadap korosi, memiliki konduktivitas termal tinggi, lunak tapi kuat sehingga tidak merusak tromol rem apabila kampas rem habis, ulet sehingga tidak

mudah retak. Pada pembuatan sepatu rem kendaraan bermotor secara umum digunakan paduan aluminium alloy yaitu Al-Si. Campuran silikon dalam aluminium jenis ini menghasilkan keuntungan-keuntungan seperti sifat mampu cor yang baik, mudah dilakukan proses permesinan dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Untuk meningkatkan mampu cor yang baik dan meningkatkan ketangguhannya, paduan Al-Si ini juga dapat ditambahkan unsur-unsur lain seperti Cu, Mg atau Ni. Sepatu rem berbahan ADC12 paduan silikon ini juga sering mengalami kerapuhan secara drastis karena pencampuran bahan silikon yang terlalu banyak ketika diperlakukan pemanasan mengakibatkan terbentuknya kristal granula silica.

Dalam hal ini peneliti menggunakan Al paduan seri 6061 karena seri ini sering digunakan untuk membuat bahan yang digunakan pada kendaraan seperti sepeda motor atau mobil. Seri Al-6061 mempunyai keunggulan seperti kekuatan tarik relatif tinggi, sifat mampu bentuk (*formability*) baik, tahan korosi dan merupakan logam ringan sehingga bagus digunakan untuk membuat sepatu rem tromol sepeda motor. Oleh karena itu diperlukan sebuah penelitian mengenai sifat terhadap penambahan tembaga (Cu) dalam paduan aluminium Al-6061 disini peneliti menambahkan unsure tembaga (Cu) sebesar 2%, 3%, 4%. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan paduan hasil coran mempunyai sifat kekerasan yang baik sehingga dapat meningkatkan daya guna

paduan aluminium serta bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

1.2.Batasan Masalah

Pembatasan masalah dari penelitian ini dimaksudkan agar penelitian lebih terpusat dan terarah pada tujuan penelitian untuk lebih memfokuskan masalah yang akan dibahas diperlukan batasan masalah, adapun beberapa batasan masalahnya sebagai berikut :

1. Proses pembuatan sepatu rem motor bahan AL A6061 dan paduan tembaga dengan cara pengecoran.
2. Melakukan pengujian kekerasan, kekuatan tarik dan mikro struktur bahan aluminium tipe A6061 paduan tembaga.
3. Produk Al A6061 di produksi PT Indomakmur Inti Lestari untuk pembuatan sepatu rem sepeda motor.
4. Variasi Al A6061 dengan paduan tembaga sebesar 2% . 3% . 4%.

1.3.Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan yang muncul dalam pembuatan Sepatu Rem bahan A6061 paduan tembaga adalah:

1. Bagaimana pengaruh kekerasan terhadap paduan Al type A6061 dengan tembaga (Cu) sebesar 2%, 3%, 4%?
2. Bagaimana pengaruh kekuatan tarik terhadap paduan Al type A6061 dengan tembaga (Cu) sebesar 2%, 3%, 4%?

3. Bagaimana pengaruh struktur mikro terhadap paduan Al type A6061 dengan tembaga (Cu) sebesar 2%, 3%, 4%?

1.4.Tujuan Dan Manfaat

1. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh penambahan unsure tembaga sebesar 2%, 3%, 4% pada aluminium tipe A6061 terhadap kekerasan sepatu rem sepeda motor.
- b. Mengetahui pengaruh penambahan unsure tembaga 2%, 3%, 4% pada aluminium tipe A6061 terhadap kekuatan tarik sepatu rem sepeda motor.
- c. Mengetahui sifat mekanik dan mikrostruktur pada sepatu rem motor bahan aluminium tipe A6061 Paduan tembaga 2%, 3%, 4%.

2. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menambah pengetahuan dan pengalaman tentang proses pembuatan sepatu rem bahan A6061 Paduan Tembaga dengan cara pengecoran.
2. Memberikan pengetahuan tentang paduan aluminium dan tembaga pada pembuatan sepatu rem dengan pengujian tingkat kekerasan, pengujian struktur mikro dan pengujian kekuatan tarik.
3. Dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.5. Sistematika Penulisan

Seperti yang sudah dirumuskan sistematika penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan diuraikan melalui tentang latar belakang masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, serta sistematika penulisan sebagai laporan.

BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang hasil penelitian yang berhubungan dengan teori-teori dasar seperti pengertian alimunium dan mikro struktur pada tembaga dan teori-teori yang berhubungan dengan pengambilan judul skripsi ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metodologi penelitian operasional, pengumpulan data, metode pengolahan data, rencana kerja dan desain, pembuatan, pengujian bahan, serta diagram alur penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang data-data yang dikumpulkan yang selanjutnya akan digunakan dalam proses pengolahan data dan pembahasan hasil yang akan dikeluarkan dalam penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA DAN LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Aluminium

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi, dan lain sebagainya. (Surdia,1992). Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Aluminium juga merupakan konduktor panas dan elektrik yang baik. Jika dibandingkan dengan massanya, aluminium memiliki keunggulan dibandingkan dengan tembaga, yang saat ini merupakan logam konduktor panas dan listrik yang cukup baik, namun cukup berat.

Aluminium banyak digunakan sebagai peralatan dapur, bahan konstruksi bangunan dan ribuan aplikasi lainnya dimana logam yang mudah dibuat dan kuat. Walau konduktivitas listriknya hanya

60% dari tembaga, tetapi Aluminium bisa digunakan sebagai bahan transmisi karena ringan. Aluminium murni sangat lunak dan tidak kuat, tetapi dapat dicampur dengan Tembaga, Magnesium, Silikon, Mangan, dan unsur-unsur lainnya untuk membentuk sifat-sifat yang menguntungkan. Campuran logam ini penting kegunaannya dalam konstruksi mesin, komponen pesawat modern dan roket. Logam ini jika diuapkan di vakum membentuk lapisan yang memiliki reflektivitas tinggi untuk cahaya yang tampak dan radiasi panas. Lapisan ini menjaga logam dibawahnya dari proses oksidasisehingga tidak menurunkan nilai logam yang dilapisi. Lapisan ini digunakan untuk memproteksi kaca teleskop dan masih banya kegunaan lainnya., tetapi juga bagaimana proses perlakuannya hingga aluminium siap digunakan, apakah dengan penempaan, perlakuan panas, penyimpanan, dan sebagainya. (Anton J. Hartono, 1992).

Adapun sifat-sifat mekanis aluminium dapat dilihat pada table di bawah ini

Table 2.1. Sifat mekanik aluminium)

Sumber: (Surdia dan Saito, 2000)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Di anil	75% dirol dingin	Di anil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9

Kekuatan mulur (0,2) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinel	17	27	23	44

Dari data data table diatas, aluminium merupakan konduktor listrik yang baik dan ketahanan korosi berubah menurut kemurnian aluminium, pada umumnya untuk kemurnian 99,0% atau diatasnya dapat dipergunakan di udara bebas dan tahan dalam kurung waktu bertahun-tahun. Keutamaan aluminium dalam bidang teknik yaitu sifatnya yang unik dan menarik seperti dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam-macam penampang namun memiliki sifat mekanis yang kurang baik seperti contohnya kekerasan sehingga perlu ditambahkan paduan untuk menyeimbangkan kebutuhan dari kekurangan sifat aluminium murni tersebut..

2.1.2 Paduan Aluminium

Paduan aluminium dikelompokkan berdasarkan pada jenis unsur paduan dengan sistem 4 digit dimana digit pertama menunjukkan kelompok aluminium, digit kedua menunjukkan modifikasi dari paduan aslinya atau batas unsur pengotor dan 2 digit terakhir menunjukkan kemurnian aluminium. Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara. Standar klasifikasi saat ini yang

dikenal adalah standar Aluminium Association di Amerika (AA) yang didasarkan standar terdahulu dari Alcoa (Aluminium Company of America).

a. Al murni

Jenis ini adalah aluminium dengan kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Aluminium dalam seri ini di samping sifatnya yang baik dalam tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik juga memiliki sifat yang baik dalam pengelasan dan pemotongan. Halyang kurang menguntungkan adalah kekuatan yang rendah.

b. Al-Cu

Merupakan paduan aluminium yang memiliki seri 2xxx dan mengandung unsur tembaga sebesar 4 -5%. Pada jenis paduan ini memiliki sifat-sifat mekanik dan mampu mesin yang baik sedangkan untuk mampu cornya masih tergolong kurang baik. Oleh sebab itu penambahan Si sangat berpengaruh pada paduan ini untuk memperbaiki keadaan tersebut dan penambahan Ti berguna untuk memperhalus butir. Paduan ini dipakai untuk bagian-bagian motor mobil, dan rangka utama dari katup (Surdia, 1991). Tembaga memiliki warna kuning kemerah - merahan. Unsur ini sangat mudah dibentuk, lunak, sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis, kawat. Bersifat sebagai konduktor panas dan listrik yang bagus untuk aliran elektron. Tembaga bersifat keras bila tidak murni.

Memiliki titik leleh pada 1084,62 °C, sedangkan titik didih pada 2562 °C.

c. Paduan Al-Mg

Merupakan paduan aluminium yang memiliki seri 5xxx dan mengandung unsur magnesium sebesar 4 -16%. Dengan keberadaan magnesium sebesar 15,35% sangat berpengaruh terhadap aluminium karena dapat menurunkan titik lebur logam paduan yang cukup drastis dari 600° C hingga menjadi 450° C. Namun, hal tersebut tidak menjadikan paduan Al-Si dapat ditempa menggunakan suhu panas dengan mudah dikarenakan pada suhu diatas 60° C korosi mulai terjadi. Magnesium juga dapat menjadikan aluminium bekerja

d. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat-sifatnya, maka paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium baik paduan cor maupun paduan tempa.

e. Paduan Al-Mn

Merupakan paduan aluminium yang memiliki seri 3xxx. Penambahan Mn berfungsi untuk memperkuat Al tanpa mengurangi sifat ketahanan korosi dan biasa dipakai sebagai pembuatan paduan tahan korosi. Sebagai contoh penambahan Mn sekitar 1.2% pada A3003 meningkatkan kekuatan 10% pada aluminium dan merupakan

salah satu paduan yang tahan korosi tanpa dilakukan perlakuan panas. Paduan ini biasa digunakan untuk peralatan dapur seperti panci dan panel-panel elektronik.

2.1.3 Aluminium 6061

Aluminium Alloy 6061 (Alloy 6061) merupakan paduan aluminium dari grup 6XXX yang paling sering dipakai. Paduan ini termasuk paduan yang tahan terhadap panas. Setelah aluminium, *magnesium* dan silikon merupakan komposisi utama dalam material ini. Kombinasi antara Aluminium, *magnesium*, dan silikon pun menghasilkan material yang sangat reaktif terhadap oksigen.

Aluminium 6061 adalah paduan aluminium panas yang sangat fleksibel karena kandungan silikon dan magnesium. 6061 memiliki berbagai sifat tahan mekanik dan korosi serta memiliki sebagian besar kualitas aluminium yang baik. Beberapa produsen juga menambahkan sedikit krom dan tembaga untuk memperoleh sifat tertentu. Ketika permukaan Alloy 6061 terkena udara, akan segera terbentuk lapisan tipis yang melindungi logam paduan ini dari karat. Apabila lapisan ini terkelupas, logam paduan yang terbuka juga akan segera bereaksi membentuk lapisan baru. Hasilnya, ketahanan paduan ini terhadap korosi menjadi begitu tinggi.

Table 2.2 Composition Al 6061

Sumber : <https://en.wikipedia.org>

Al	Mg	Si	Fe	Cu	Kr	Zn	Ti	Mn	Sisa
95,85	0.8	0,40	0,0	0,15	0,04	0,0	0,0	0,0	0,05
98,56	1.2	0,8	0,7	0,40	0,35	0,25	0,25	0,15	0,15

2.1.4 Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam yang mempunyai sifat lunak dan liat, penghantar panas dan listrik yang baik, memiliki kesiapan untuk membentuk campuran-campuran, lebih merata pada waktu pendinginan, dapat dikerjakan dalam keadaan panas maupun dingin. Oleh sebab itu, tembaga sangat berguna untuk pengerjaan perubahan bentuk antara lain dipergunakan untuk gelang paking. Kekuatan tarik tembaga kira-kira 200 N/mm² lebih dari logam yang lain, tembaga mempunyai kekuatan tarik yang lebih besar pada suhu yang lebih rendah. Titik lebur tembaga ada pada 1083,4°C, berat jenisnya 8900 Kg/m³. Tembaga yang masih murni sukar dikerjakan dengan alat pemotong tapi mudah sekali diubah bentuk dalam keadaan dingin dengan ditempa, digiling atau diregangkan. Dengan pengerjaan dingin kekuatan tembaga murni akan meningkat kekuatannya sampai 450 N/mm². Tembaga murni memiliki struktur kristal *face centered cubic* (FCC). Tembaga murni memiliki warna kemerahan, memiliki titik lebur pada 1084°C, dan berat jenisnya adalah 8,9 gr.cm⁻³.

Konduktivitas panas dan listrik dari tembaga 1,5 lebih besar jika dibandingkan dengan aluminium. Tembaga merupakan logam non ferro yang banyak digunakan sebagai unsur paduan di dalam aluminium. Tembaga ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan lelah (*fatigue*). Tembaga sebagai unsur paduan aluminium dalam jumlah tertentu akan menambah kekuatan dan kekerasannya. Kekuatan dan ketahanan lelah (*fatigue*). Tembaga sebagai unsur paduan aluminium dalam jumlah tertentu akan menambah kekuatan dan kekerasannya.

2.1.5 Pengecoran

Pengecoran merupakan salah teknologi proses manufaktur tertua dan sampai saat ini masih digunakan di dunia industri karena mampu membentuk bagian yang rumit dan sangat ekonomis. Maka dari itulah pengecoran saat ini sangat berperan penting dalam industri manufaktur. Prinsip dari pengecoran sangat sederhana seperti yang diungkapkan oleh Surdia (2000) menyatakan bahwa pengecoran logam merupakan proses pembuatan produk yang diawali dengan mencairkan logam ke dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang terlebih dahulu dibuat pola, hingga logam cair tersebut membeku dan kemudian dilepas dari cetakan. Untuk membuat coran, harus dilakukan proses-proses seperti pencairan logam, pembuatan cetakan, persiapan, penuangan logam cair ke dalam

cetakan, pembongkaran dan pembersihan coran. Metode pengecoran ditinjau dari jenis cetakannya dapat di golongkan menjadi metode pengecoran logam cetakan tetap dan tidak tetap. Metode pengecoran logam cetakan tetap di antaranya metode *high pressure die casting* , *low pressure die casting*, pengecoran *sentrifugal* dan *gravity die casting*, sedangkan metode pengecoran cetakan tidak tetap di antaranya pengecoran cetakan pasir, *investment casting* dan *lost foam casting* setiap jenis pengecoran memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga dalam pemilihan proses produksi dengan metode pengecoran harus mempertimbangkan dari berbagai sisi baik biaya, kualitas, fungsi dan lain-lain (Tata Surdia, 2006).

2.1.6 Proses Pembuatan Cetakan

Ada lebih dari satu jenis cetakan dalam pengecoran yang digunakan dalam pengecoran logam. Masing-masing jenis jetakan digunakan oleh satu atau lebih metode pengecoran logam.

1) Cetakan Tidak Permanen (Expendable Mold)

Cetakan tidak permanen (Expendable mold) hanya dapat digunakan satu kali saja. Contoh : Cetakan pasir (sand casting), cetakan kulit (shell mold casting), dan cetakan presisi (precisian casting). Pada proses pengecoran dengan cetakan sekali pakai, untuk mengeluarkan produk corannya cetakan harus dihancurkan. Jadi selalu dibutuhkan cetakan yang baru untuk setiap pengecoran baru, sehingga laju proses pengecoran akan memakan waktu yang relatif

lama. Tetapi untuk beberapa bentuk geometri benda cor tersebut, Pada proses cetakan permanen, cetakan biasanya di buat dari bahan logam, sehingga dapat digunakan berulang-ulang. Dengan demikian laju proses pengecoran lebih cepat dibanding dengan menggunakan cetakan sekali pakai, tetapi logam coran yang digunakan harus mempunyai titik lebur yang lebih rendah dari pada titik lebur logam cetakan. Adapun jenis-jenis cetakan sekali pakai dan penggunaannya diantaranya :

a. Cetakan Pasir

Pengecoran dengan cetakan pasir adalah proses pengecoran dengan menggunakan pasir sebagai bahan yang digunakan untuk membuat cetakan. Proses pengecoran ini merupakan suatu proses yang paling dikenal. Proses ini sendiri tidak lain adalah menuangkan logam cair kerongga dari cetakan pasir, sehingga diperlukan bahan cetakan yang mampu menahan temperatur yang lebih tinggi dari temperature logam yang dituangkan. Cetakan pasir merupakan cetakan yang paling banyak digunakan, karena memiliki keunggulan :

- a) Dapat mencetak logam dengan titik lebur yang tinggi, seperti baja, nikel dan titanium.
- b) Dapat mencetak benda cor dari ukuran kecil sampai dengan ukuran besar
- c) Jumlah produksi dari satu sampai jutaan.

b. Cetakan Logam

Pengecoran dengan menggunakan cetakan logam atau biasa disebut dengan permanent mold sehingga cetakan dapat digunakan berulang-ulang. Pengecoran dalam cetakan logam dilaksanakan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan logam seperti pada pengecoran pasir. Sebagai bahan cetakan terutama dipakai baja khusus, atau besi cor paduan. Sebagai bahan coran umumnya diambil paduan bukan besi yang mempunyai titik cair rendah seperti paduan aluminium, paduan magnesium atau paduan tembaga (Tata Surdia dan Chijiwa Kenji, 1998). Di dalam cetakan logam perlu diberikan bahan pelapis permukaan cetakan agar memudahkan proses pembebasan cetakan dan mengurangi keausan cetakan serta menurunkan kecepatan coran sehingga terhindar dari cacat-cacat. Bahan pelapis yang digunakan untuk melapisi permukaan cetakan logam adalah bahan anorganik yang bersifat tahan api, seperti tanah lempung. Cetakan logam merupakan cetakan yang dapat memberikan hasil coran dengan ketelitian ukuran coran yang sangat baik kalau dibanding pengecoran dengan cetakan pasir dan memiliki permukaan coran yang halus, menghasilkan struktur yang rapat serta sifat mekanis dan sifat tahan tekanan yang sangat baik. Komposit dikembangkan untuk mendapatkan karakteristik dan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material pembentuknya..

2.1.7 Proses Pengecoran Logam

Untuk membuat coran langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Pembuatan Cetakan

Cetakan biasanya dibuat dengan cara memadatkan pasir. Pasir yang digunakan terkadang pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Terkadang juga dicampurkan pengikat khusus seperti semen, resin furan, resin fenol, atau minyak pengering. Pengikat khusus tersebut dapat memperkuat cetakan atau mempermudah operasi pembuatan cetakan.

b. Pencairan Logam

Logam yang ingin dijadikan sebagai material bahan baku produk yang ingin dibuat dicairkan terlebih dahulu. Untuk mencairkan logam, tanur atau tungku yang digunakan bermacam-macam. Umumnya, tanur induksi frekuensi rendah digunakan untuk besi cor, tanur busur listrik atau tanur induksi frekuensi tinggi digunakan untuk baja tuang, dan tanur krus untuk paduan tembaga atau coran paduan ringan. Logam dapat dicairkan dengan jalan memanaskan hingga mencapai temperature 1300°C . Berat jenis logam cair besi cor $6,8 \text{ gr/cm}^3$ sampai $7,0 \text{ gr/cm}^3$, paduan aluminium $(2,2-2,3) \text{ gr/cm}^3$, paduan timah $(6,6-6,8) \text{ gr/cm}^3$. Karena berat jenis logam tinggi maka aliran logam memiliki kelembaman dan gaya tumbuk yang besar. Kekentalan logam tergantung temperaturnya, semakin tinggi temperature

kekentalannya semakin rendah. Berikut daftar kekentalan berbagai macam logam.

c. Penuangan Cairan Logam

Setelah cetakan dan logam cair sudah siap, selanjutnya menuangkan logam cair tersebut ke dalam cetakan. Pada umumnya, logam cair dituangkan dengan pengaruh gaya berat (dituang biasa). Tapi terkadang, digunakan tekanan pada logam cair selama atau setelah penuangan.

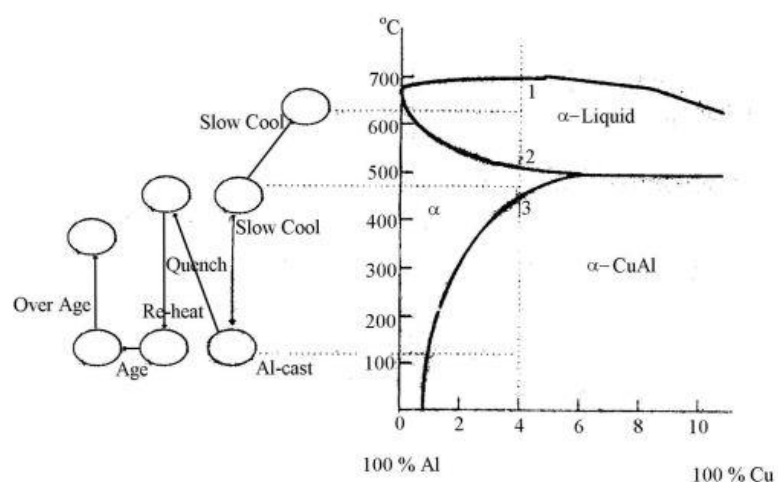
d. Pembongkaran Cetakan dan Pembersihan Coran

Setelah dituang dan logam telah mendingin dan mengeras, coran dikeluarkan dari cetakan dan dibersihkan atau diproses lebih lanjut lagi. Kemudian coran dibersihkan dengan disemprot mimis atau semacamnya agar hasilnya terlihat bagus. Lalu dilakukan pemeriksaan visual untuk melihat kerusakan serta pemeriksaan dimensi untuk melihat apakah ukuran sudah sesuai desain atau belum. Selain itu, bisa juga dilakukan pemeriksaan metalurgi untuk mencari kerusakan dalam, semisal dengan pengujian supersonik atau pemeriksaan radiografi. Bisa juga dilakukan uji kekuatan, struktur mikro, dan komposisi kimia pada hasil coran.

2.1.8 Heat Treatment

Heat Treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada elektrik terance (tungku) pada temperature rekristalisasi selama

periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperature sangat menentukan.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Al-Cu

Sumber: Sugeng Slamet, 2018.

Proses dari pemanasan awal hingga pendinginan cepat disebut proses perlakuan pelarutan (*solution treatment*), dan proses sesudahnya disebut proses perlakuan pengendapan (*precipitation treatment*).

Untuk menjelaskan mekanisme terjadinya pengerasan, sebagai contoh diambil untuk diagram fase Al-Cu. Dari diagram tampak bahwa kelarutan Cu dalam Al menurun dengan menurunnya temperatur. Suatu paduan dengan 4 % Cu mulai membeku di titik 1 dengan membentuk dendrit larutan padat α . Dan pada titik 2 seluruhnya sudah membeku menjadi larutan padat α dengan 4 % Cu. Pada titik 3 kelarutan Cu dalam Al mencapai batas jenuhnya, bila temperaturnya diturunkan akan ada Cu yang keluar dari larutan padat α berupa CuAl_2 . Makin rendah temperaturnya makin banyak Cu-Al yang keluar. Pada gambar struktur mikro Al-Cu tampak partikel CuAl tersebar didalam matriks α . Dengan pemanasan kembali sampai diatas garis solvus (titik 3) semua Cu larut kembali di dalam α . Dengan pendinginan cepat (*quench*) Cu tidak sempat keluar dari α . Pada suhu kamar struktur masih tetap berupa larutan padat α fase tunggal. Sifatnyapun masih belum berubah. Masih tetap lunak dan sedikit ulet. Dalam keadaan ini larutan dikatakan sebagai larutan yang lewat jenuh karena mengandung *solute* yang melampaui batas jenisnya untuk temperatur itu. Setelah beberapa saat larutan yang lewat jenuh ini akan mengalami perubahan kekerasan dan kekuatan. Menjadi lebih

kuat dan keras , tetapi struktur mikro tidak tampak mengalami perubahan .Penguatan ini terjadi karena timbulnya partikel CuAl_2 (fase q) yang berpresipitasi di dalam kristal a. Presipitat ini sangat kecil tidak tampak di mikroskop (*submicroscopic*) dan akan menyebabkan terjadinya tegangan pada lattis kristal a di sekitar presipitat ini.

2.1.9 Sepatu Rem Motor

Sepatu rem merupakan salah satu komponen pada rem dari sepeda motor yang berfungsi sebagai tempat melekatnya kampas rem. Sepatu rem bekerja secara sederhana, akan tetapi merupakan komponen penting dalam sepeda motor karena fungsinya yang cukup vital, yaitu menghubungkan antara komponen master rem yang berhubungan dengan tuas rem yang digerakkan oleh pengendara dengan kampas rem yang akan bergesekan langsung dengan tromol untuk menghentikan laju kendaraan. Karena fungsinya yang cukup penting maka apabila sepatu rem tidak memenuhi spesifikasi gaya pengereman dapat berkurang dan dapat membahayakan pengendara. Bentuk sepatu rem dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.2 (Sepatu Rem Motor)

Sumber: (Document Pribadi)

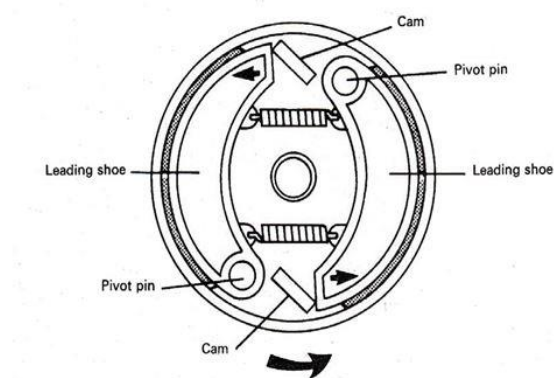
Fungsi utama sepatu rem adalah sebagai komponen untuk menekan tromol rem, tapi secara keseluruhan ada beberapa fungsi pada brake shoe yakni:

- a. Sebagai tempat untuk meletakkan kampas rem
- b. Sebagai tempat mekanisme pegas pengembali
- c. Sebagai penekan kampas secara rata.

Pada satu unit rem tromol memiliki dua buah brake shoe, hal ini sesuai pada cara kerja rem tromol. Sistem rem tromol bekerja dengan melakukan penekanan satu arah ke media tromol, hal ini berbeda dengan sistem rem cakram yang memiliki dua arah penekanan yang saling menjepit.

pada rem tromol, sepasang brake shoe akan melakukan penekanan terhadap tromol dengan arah keluar. Sistem tromol ini terdiri dari komponen tromol yang berbentuk seperti mangkuk dan dinding komponen ini digunakan untuk melaksanakan gesekan. Rem tromol digunakan pada

kendaraan tipeterdahulu, tetapi biasanya juga digunakan untuk rem bagian belakang kendaraan. Rem tromol terdiri dari komponen rumah rem atau drum dan kampas rem, cara kerja rem tromol adalah rem bekerja atas dasar gesekan antara sepatu rem dengan drum yang ikut berputar dengan putaran roda kendaraan. Agar gesekan dapat memperlambat kendaraan dengan baik, sepatu rem dibuat dari bahan yang mempunyai koefisien gesek yang tinggi. Berikut adalah letak sepatu rem pada komponen rem tromol



Gambar 2.3 (Letak Sepatu Rem)

Sumber : (Sugeng Slamet, 2018)

Agar gesekan dapat memperlambat kendaraan dengan baik, sepatu rem dibuat dari bahan yang mempunyai koefisien gesek yang tinggi. Keuntungan dan kerugian rem tromol adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan

- a. Rem tromol digunakan untuk kendaraan yang memerlukan kerja ekstra dalam pengereman contoh : kendaraan operasional seperti bis, truk, minibus, dsb. Rem. Jadi rem tromol dapat digunakan pada beban angkut yang berat (*heavy duty*) dengan bekerja.

2. Kerugian

- a. Rem tromol yang masih menerapkan sistem tertutup dalam prosesnya. Dengan system ini membuat partikel kotoran pada ruang tromol tersebut. Jadi untuk perawatan membersihkannya harus membuka roda agar rumah rem dapat dibersihkan dari debu atau kotoran.

2.1.10 Karakteristik atau Sifat-Sifat Material

Secara garis besar material mempunyai sifat-sifat yang mencirikannya, pada bidang teknik mesin umumnya sifat tersebut dibagi menjadi tiga sifat. Sifat –sifat itu akan mendasari dalam pemilihan material, sifat tersebut adalah:

- a. Sifat Mekanik
- b. Sifat Fisik
- c. Sifat Teknologi

1. Sifat Mekanik

Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau

perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu. Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (*destructive test*), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut. Setiap material yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh material apabila berasal dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama. Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada material uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material dan ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impak, kekuatan mulur, kekuatan leleh dan sebagainya.

2. Sifat Fisik

Sifat penting yang kedua dalam pemilihan material adalah sifat fisik. Sifat fisik adalah kelakuan atau sifat-sifat material yang

bukan disebabkan oleh pembebanan seperti pengaruh pemanasan, pendinginan dan pengaruh arus listrik yang lebih mengarah pada struktur material. Sifat fisik material antara lain : temperatur cair, konduktivitas panas dan panas spesifik. Struktur material sangat erat hubungannya dengan sifat mekanik. Sifat mekanik dapat diatur dengan serangkaian proses perlakuan fisik. Dengan adanya perlakuan fisik akan membawa penyempurnaan dan pengembangan material bahkan penemuan material baru.

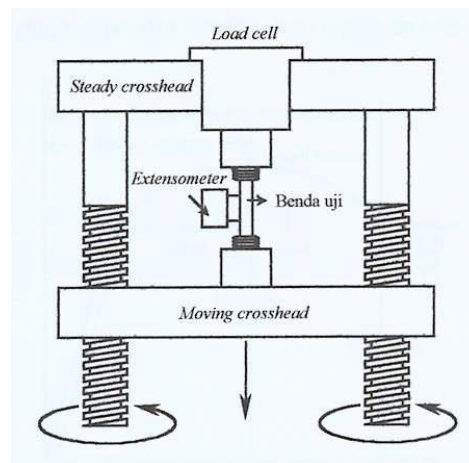
3. Sifat Teknologi

sifat teknologi yaitu kemampuan material untuk dibentuk atau diproses. Produk dengan kekuatan tinggi dapat dibuat dengan proses pembentukan, misalnya dengan pengerolan atau penempaan. Produk dengan bentuk yang rumit dapat dibuat dengan proses pengecoran. Sifat-sifat teknologi diantaranya sifat mampu las, sifat mampu cor, sifat mampu mesin dan sifat mampu bentuk. Sifat material terdiri dari sifat mekanik yang merupakan sifat material terhadap pengaruh yang berasal dari luar serta sifat-sifat fisik yang ditentukan oleh komposisi yang dikandung oleh material itu sendiri.

2.1.11 Pengujian Tarik

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik benda uji diberi

beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dengan extensometer.



Gambar 2.4. Skema pengujian tarik

Sumber: (Sugeng Slamet, 2018)

Tegangan yang didapatkan dari kurva tegangan teoritik adalah tegangan yang membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang lintang benda uji itu. (Tata Surdia, 2014).

$$\sigma = P / A_o \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

σ = tegangan (N/m²)

P = beban (N)

A_o = luas penampang patah (m²)

Regangan yang didapatkan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh L), dengan Δ atau δ dengan cara membagi perpanjangan (gage length) benda uji (panjang awal.)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

σ : tegangan (MPa)

P: beban yang diberikan (N)

ϵ : regangan (%)

A_0 : luas penampangmula-mula (mm)

L_0 : panjang mula-mula (mm)

ΔL : ($L_i - L_0$) atau pertambahan panjang (mm)

Modulus elastisitas :

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

$\Delta \sigma$: tegangan (MPa)

$\Delta \epsilon$: regangan (%)

E: modulus elastisitas (MPa)

Kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strenght), adalah nilai yang paling sering dituliskan sebagai hasil suatu uji tarik, tetapi pada kenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan material. Untuk logam ulet, kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban l maksimum, diman logam dapat menahan beban sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas. Pada tegangan yang lebih

komplek, kaitan nilai tersebut dengan kekuatan logam, kecil sekali kegunaannya. Kecenderungan yang banyak ditemui adalah, mendasarkan rancangan statis logam ulet pada kekuatan luluhnya. Tetapi karena jauh lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan bahan, maka metode ini lebih banyak dipakai. Kekuatan tarik adalah besarnya beban maksimum dibagi dengan luas penampang lintang awal benda uji.

Korelasi empiris yang diperluas antar kekuatan tarik dengan sifat mekanik lainnya seperti kekerasan dan kekuatan lelah, sering dipergunakan. Hubungan tersebut hanya terbatas pada hasil penelitian beberapa jenis material.

2.1.12 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan sering sekali dilakukan karena mengetahui kekerasan suatu material maka (secara umum) juga dapat diketahui beberapa sifat mekanik lainnya, seperti kekuatan. Pada pengujian kekerasan dengan metoda penekanan, penekan kecil (indentor) ditekankan pada permukaan bahan yang akan diuji dengan penekanan tertentu. Kedalaman atau hasil penekanan merupakan fungsi dari nilai kekerasan, makin lunak suatu bahan makin luas dan makin dalam akibat penekanan tersebut, dan makin rendah nilai kekerasannya. Uji kekerasan merupakan kemampuan suatu benda terhadap pembebanan yang tepat, sehingga ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji akan

mengalami deformasi pada benda tersebut. Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian, ketiga jenis tersebut adalah kekerasan goresan (*scratch hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*) dan kekerasan pantulan (*rebound*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*). Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa (Dieter, 1933:328). Dapat didefinisikan kekerasan merupakan ketahanan sebuah benda kerja terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (*penetrator*). Pengujian kekerasan dapat diketahui dengan cara penekanan bola baja atau piramida intan yang dikeraskan pada permukaan benda kerja lalu mengukur bekas penekanan dari penetrator tersebut.

Table 2.3 Karakteristik uji kekerasan.

Sumber : (Surdia dan shaito, 1992)

Cara pengujian	<i>Brinell (HB)</i>	<i>Rockwell (HRA, HRB, HRC)</i>	<i>Vickers (HVN)</i>
Penekan (indentor)	Bola baja Ø10 mm karbida	Kerucut intan 120 ⁰ , Bola baja $\frac{1}{16} - \frac{1}{2}$	Piramida intan sudut bidang 136 ⁰
Beban	500-3000 kg	Beban mula 10 kg, beban total 660, 100, 150 kg	1-120 kg

Kekerasan	Beban luas penekanan	Dalamnya penekanan	Beban luas penekanan

1.1. Jenis - jenis uji kekerasan

1.1.1. Kekerasan *Brinell*

Uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembukuannya adalah metode yang diajukan oleh *J.A. Brinell* pada tahun 1990. Uji kekerasan *Brinell* berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan memakai bola baja berdiameter 100 mm dan diberi beban sebesar 3000 kg. Untuk logam lunak, beban dikurangi hingga 500 kg, untuk menghindari jejak yang dalam, dan bahan yang untuk sangat keras, menggunakan paduan karbida *tungsten* untuk memperkecil terjadinya *distorsi indentor*. Beban diterapkan selama waktu tertentu biasanya 30 detik dan diameter pada jejak yang berarah tegak lurus permukaan dimana lekukan akan dibuat harus relatif halus, bebas dari debu dan angka kekerasan *Brinell* (BHN) dinyatakan sebagai beban (P) dibagi luas permukaan lekukan. Rumus untuk angka kekerasan tersebut adalah : Sumber:(Surdia dan shaito, 1992)

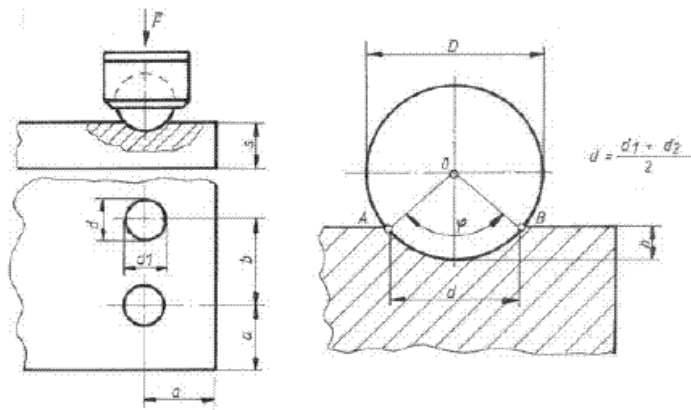
$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi D t} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan : P = beban yang diterapkan (kg)

D = diameter bola (mm)

d = diameter lekukan (mm)

t = kedalam jejak (mm)



Gambar 2.6 : (Indentor kekerasan brinell)

Sumber: (Soleh Setiawan 2006)

1.1.2. Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar, besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *Brinell*. Karena bentuk penumbuknya piramid maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan piramida intan (DPH) atau kekerasan *Vickers* (VHN), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan.

Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak, VHN dapat ditentukan dengan persamaan berikut: (Dieter, 1933:334).

$$VHN = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan : P = beban yang ditetapkan (kg)

L = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antarpermukaan intan yang berlawanan (136°)

Pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan mikro *Vickers*. *Pengujian mikro Vickers* adalah metode pengujian kekerasan dengan pembebanan yang relatif kecil yang sulit dideteksi oleh metode pengujian makro *Vickers*. Prinsip pengujian mikro *Vickers* adalah dengan penekanan penetrator pada permukaan benda uji sehingga pembebanan yang dibutuhkan relatif kecil yaitu berkisar 10-1000 kgf (Dieter, 1933:334). Alasan menggunakan metode ini karena dengan indenter piramid, sama baik digunakan untuk logam keras maupun lunak, nilai kekerasan suatu spesimen uji dapat diketahui dari penentuan angka kekerasan pada suatu spesimen yang kecil dapat diukur dengan memilih gaya yang relatif kecil. Angka kekerasan piramida intan (DPH) atau angka *Vickers* (VHN) dapat ditentukan dari persamaan berikut ; Sumber (Dieter, 1933:334)

$$VHN = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$A = \frac{D^2}{2 \sin \frac{\theta}{2}} = \frac{D^2}{\sin 68} = \frac{D^2}{1.854} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$VHN = \frac{P}{A} = \frac{1.854P}{D^2} (kgf/mm^2) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan : P = beban yang diterapkan (kgf)

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan 136^0

D = panjang diagonal rata-rata (mm)

d = panjang diagonal 1 (mm)

d = panjang diagonal 2 (mm)

1.1.3. Kekerasan *rockwell*

Pada pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* digunakan dua indenter yaitu kerucut intan dengan sudut sebesar 120^0 (*Rockwell Cone*) dan indenter bola baja dengan bermacam ukuran, (*Rockwell Ball*). Indenter tersebut ditabrakkan kematerial uji dengan pembebanan yang disesuaikan dengan skala yang telah ditetapkan berdasarkan jenis material yang diujikan. Material logam diuji menggunakan skala *Rockwell* A, B dan C.

Skala digunakan untuk menguji material yang sangat keras seperti karbida tungsten, skala D dan dibawahnya dipakai untuk batu gerinda dan plastik (Surdia, 1999:31).

Uji kekerasan *Rockwell* dalam pembebanannya dibagi menjadi pembebanan minor dan pembebanan mayor. Pembebanan minor adalah pembebanan awal sebelum pembebanan mayor dilakukan. Besarnya pembebanan minor biasanya 10 kg. Setelah pembebanan minor diteruskan dengan pembebanan mayor yang besarnya sesuai

dengan skala kekerasan yang digunakan dikurangi beban minor.

Dalam memilih skala kekerasan *Rockwell* mengacu pada tabel 1.2

Tabel 2.4 Skala kekerasan *Rockwell*.

Sumber: (ASTM E 10-01 2001)

<i>Scale</i>	<i>Indentor</i>	F0	F1	F	E	Jenis Material Uji
A	<i>Diamond Cone</i>	10	50	60	100	<i>Extremely hard material, tunsten carbides, dll.</i>
B	$\frac{1}{16}$ " <i>Steel ball</i>	10	90	100	130	<i>Medium hard material, low and medium carbon steel, kuningan, perunggu, dll</i>
C	<i>Diamond Cone</i>	10	140	150	100	<i>Hardened stells, hardened and tempered alloys.</i>
D	<i>Diamond Cone</i>	10	90	100	100	<i>annealed kuningan dan tembaga</i>
E	<i>Diamond Cone</i>	10	90	60	130	<i>Berrylum copper, phosphor bronze, dll</i>

<i>Scale</i>	<i>Indenter</i>	F0	F1	F	E	Jenis Material Uji
F	$\frac{1}{16}$ "Steel <i>ball</i>	10	50	60	130	<i>Alluminium sheet</i>
G	$\frac{1}{16}$ "Steel <i>ball</i>	10	140	150	130	<i>Cast iron, alluminium alloys</i>

Tingkat kekerasan ditentukan berdasarkan perhitungan dengan rumus :

$$HR = E - e \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

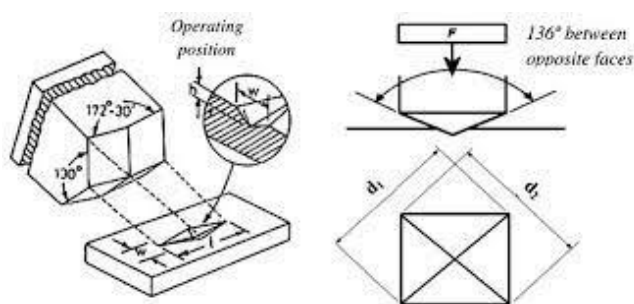
Keterangan :

E = Beban penekanan

e = Kedalaman penetrasi

$$\text{dimana} = e = \frac{h}{0,002} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

h = kedalaman (mm)



Gambar 2.7 : (Skematik prinsip indentasi metode Vickers)

Sumber : (Soleh Setiawan, 2006)

2.1.13 Pengujian Mikro Struktur

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi dapat dilihat dengan menggunakan alat struktur mikro diantaranya: mikroskop *electron*, mikroskop *field ion*, mikroskop *field emission*, dan mikroskop sinar X. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya, adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah :

1. Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Pengujian struktur ini dilaksanakan secara makroskopik atau mikroskopik. Dalam uji makroskopik, permukaan spesimen dengan mata telanjang atau melalui *loupe* untuk mengetahui status penetrasi, jangkauan yang terkena panas dari keausannya. Dalam pemeriksaan mikroskopik, permukaan spesimen diperiksa melalui mikroskopik metalurgi untuk mengetahui jenis struktur dan rasio komponennya untuk menentukan sifat material. Persiapan yang harus dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah pemotongan spesimen, pengamplasan dan pemolesan dilanjutkan pengetesan. Setelah dipilih bahan uji dan diratakan permukaannya, setelah memastikan rata betul kemudian dilanjutkan dengan proses pengamplasan dengan nomor kekerasan yang berurutan dari kasar (nomor kecil) sampai yang halus

(nomor besar). Arah pengamplasan tiap tahap harus diubah, pengamplasan yang lama dan penuh kecepatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Pemolesan dilakukan dengan autosol yaitu *metal polish*, bertujuan agar didapat permukaan yang halus dan rata tanpa goresan hingga terlihat mengkilap seperti kaca. Langkah terakhir sebelum melihat struktur mikro adalah dengan mencelupkan spesimen dalam larutan etsa dengan posisi permukaan yang di etsa menghadap keatas. Selama pencelupan akan terjadi reaksi terhadap permukaan spesimen sehingga larutan yang menyentuh harus segar/baru, oleh karena itu perlu digerak-gerakan, kemudian spesimen dicuci, dikeringkan dan dilihat atau difoto dengan mikroskop logam. Pemeriksaan struktur mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran dan banyaknya bagian struktur yang berbeda.

2.2 Tinjauan Pustaka

1. Ahmadi, N (2002), meneliti tentang pengaruh pengecoran batang torak dari aluminium paduan AL-Cu-Ni dengan cetakan pasir dan cetakan logam terhadap kekerasan dan kekuatan tarik. Disimpulkan bahwa Hasil penelitian menunjukkan cetakan logam mempunyai kekerasan lebih dibanding cetakan pasir, dengan kekerasan rata-rata 109,20 kg/mm² dan 81 kg/mm² sedangkan kekuatan tariknya 13,56 kg/mm² dan 9,77 kg/mm² .
2. Hari Utama (2009), melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan Cu sebesar 1%, 3%, dan 5% pada aluminium dengan

solution heat treatment pada sifat fisik dan mekanik. Disimpulkan bahwa sifat fisis dan mekanis antara kekuatan dan kelebihan dari masing-masing benda yang pada aplikasinya dapat dibandingkan kualitas dari masing-masing benda. Dengan penambahan unsur Cu dan perlakuan serta natural aging pada Al-Cu sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. pengujian kekerasan dapat dilihat bahwa terdapat kenaikan pada tiap-tiap penambahan Cu pada Al setelah mengalami perlakuan pelarutan dan natural aging. Penambahan Cu pada Al setelah dikenai perlakuan pelarutan dan natural aging berpengaruh juga pada kekuatan tarik dari hasil penelitian dapat dilihat hasilnya. Pada penambahan Cu (1%, 3% dan 5%) kekuatan tarik rata-rata mengalami peningkatan, pada Cu 1% kekuatan tarik rata-ratanya adalah 176,428 Mpa, Cu 3% kekuatan tarik rata-ratanya 203,659 Mpa dan pada penambahan Cu 5 % kekuatan tarik rata-ratanya 226,64 Mpa.

3. Roziqin (2012), melakukan penelitian tentang pengaruh model sistem saluran pada proses pengecoran aluminium daur ulang terhadap struktur mikro dan kekerasan coran puli diameter 76 mm dengan cetakan pasir. Metode yang dilakukan dengan membuat tiga macam sistem saluran dengan temperatur 700°C. hasil menunjukkan bahwa sistem saluran langsung di tengah dan sistem saluran saluran pisah samping dengan lubang penambah tidak terdapat cacat penyusutan sedangkan pada system saluran pisah samping tanpa

lubang penambah terdapat cacat penyusutan di tengah coran. Hasil struktur mikro permukaan aluminium yang paling halus terdapat pada sistem saluran pisah samping dengan lubang penambah. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa sistem saluran langsung di tengah paling tinggi nilai kekerasannya diantara system saluran yang lainyatu sebesar 77,40 BHN. Sedangkan kekerasan terendah terdapat pada sistem saluran pisah samping dengan lubang penambah yaitu sebesar 74,40 BHN. hal tersebut karena laju pembekuan terakhir terletak pada bagian tengah coran. Jadi semakin lama laju pembekuannya semakin rendah kekerasannya.

4. Drajat Samyono (2012) melakukan penelitian tentang Penggunaan aluminium AA356 sebagai komponen otomotif semakin berkembang dengan keinginan memperluas untuk menurunkan berat badan dari komponen yang digunakan. Namun, produk sebagai-cor dari paduan aluminium AA 356 masih memiliki sifat mekanik yang rendah, sehingga perlu proses lain untuk meningkatkan nilai kekerasan, salah satu proses adalah melalui proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas untuk bahan adalah proses T6 (artificial ageing) termasuk: pengobatan larutan pada temperatur 525 ° C selama 8 jam, quenching di air, dan kemudian proses penuaan selama 6 jam. The temperatur penuaan diterapkan berbagai dari 140 ° C, 160 ° C, 180 ° C sampai 200 ° C. Hasilnya telah menunjukkan bahwa proses penuaan pada 180 ° C mewakili temperatur yang

paling optimal untuk memperoleh nilai kekerasan terbaik, dari 59,25 HB ke 106,42 atau 79,61% HB meningkat.

5. Rusnoto (2014), melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur Mg pada pengecoran piston bekas terhadap kekuatan impak. Bahan yang digunakan adalah paduan Al-Si (piston bekas), Mg (magnesium) yang digunakan sebagai unsur penambah berbentuk waffle ingot dengan komposisi penambahan 0%, 5%, 10% dan 15%, cetakan yang digunakan menggunakan cetakan pasir. Material piston bekas sebelum dilebur dibersihkan dari kotoran terutama kerak dengan menggunakan larutan pembersih dan digosok dengan menggunakan kertas amplas. Kemudian memotong dan menimbang piston bekas dan Mg dengan komposisi yang sudah ditentukan. Piston bekas yang sudah ditimbang dimasukkan kedalam tungku pemanas untuk dilebur. Setelah piston bekas lebur barulah unsure Mg dimasukkan. Hal ini dilakukan karena paduan Al-Si (piston) memiliki titik lebur yang tinggi dibandingkan dengan Mg. Setelah kedua bahan tercampur kemudian diaduk selama 1 menit. Hasil campuran dituang kedalam cetakan dan didinginkan pada temperatur kamar. Uji yang dilakukan adalah pengujian impak. Dari hasil penelitian menunjukkan kekuatan impak meningkat seiring dengan penambahan unsure Mg pada paduan Al-Si berbasis material piston bekas. Harga Impak rata-rata terbesar terjadi pada penambahan unsur Mg sebesar 15% yaitu sebesar 0,035

J/mm². Sedangkan pada penambahan 0% Mg kekuatan impact sebesar 0,021 J/mm². Kata kunci : Paduan Al-Si, unsur Mg, pengecoran, uji impact.

6. Sugeng Slamet (2018), melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan dan temperature tuang paduan Al-Cu terhadap sifat mekanik sepatu rem Penelitian ini menggunakan paduan aluminium Al_{34,96%}-Si_{38,8%}-Cu_{15,9%} hasil daur ulang. Material daur ulang Al_{34,96%}-Si_{38,8%}-Cu_{15,9%} ditempatkan dalam kowi grafit dan dilebur menggunakan dapur crucible. Temperatur pada mesin HPDC diatur sampai temperatur 150°C untuk mengurangi laju pembekuan logam cair. Cetakan tidak dilakukan proses preheating. Tekanan kerja pada mesin HPDC yaitu 14,71 MPa dan 19,61 MPa. Temperatur tuang logam cair 650°C dan 700°C. Peningkatan temperatur tuang menyebabkan kenaikan porositas paduan Al_{34,96%}- Si_{38,8%}-Cu_{15,9%}. Peningkatan tekanan High Pressure Die Casting sebesar 14,71 MPa dan 19,61MPa tidak signifikan menurunkan porositas. Hal ini dapat disebabkan beberapa faktor antara lain besarnya laju pembekuan yang menyebabkan tekanan tidak cukup efektif memadatkan logam cair. Hasil pengujian kekerasan Nilai kekerasan paduan tertinggi pada temperatur 650°C, tekanan 14,71 MPa sebesar 160,27 HVN. Nilai kekerasan terendah pada 700°C, tekanan 19,61 MPa yaitu 102,32 HVN. Peningkatan

temperatur tuang dan tekanan tidak secara signifikan meningkatkan sifat mekanis paduan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memaparkan secara jelas hasil eksperimen terhadap benda uji, kemudian hasil analisis datanya di dasarkan pada angk -angka hasil perhitungan uji mikro struktur, uji kekerasan, uji tarik. Pada metode ini variabel-variabel dikontrol, sehingga sedemikian rupa dan perlakuan tersebut mengenai hasil analisa bahan Al 6061 paduan Tembaga. Secara garis besar langkah - langkah penelitian ditunjukan seperti diagram alur penelitian. Dalam penelitian ini, perlakuan berupa pemberian perbedaan persentase perubahan pencampuran tembaga 2%, 3%, 4% pada Al 6061. Benda kerja diuji kekuatan tarik, tekan, dan mikro struktur, kemudian dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

1. Tempat penelitian

Proses pengecoran dilakukan di PT Prima Logam Tegal uji kekerasan, uji tarik dan uji struktur mikro di UGM Yogyakarta.

2. Waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

Tabel 3.1 Waktu pelaksanaan Penelitian.

No.	Tahapan Kegiatan	Tahun 2021					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi awal						
2	Pembuatan proposal						
3	Persiapan bahan dan alat						
4	Pembuatan specimen						
5	Pengujian						
6	Pengolahan data						
7	Ujian skripsi						

3.3 Variable Penelitian

A. Variable Bebas

Variable bebas dalam penelitian ini adalah variasi A6061 paduan tembaga.

B. Variable Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini merupakan pengaruh perubahan sifat mekanik dengan melakukan uji kekerasan, uji tarik dan perubahan fisik dengan melakukan uji struktur mikro.

C. Variable Kontrol

Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah Variasi A6061 paduan tembaga 2%, 3%, 4%.

3.4 Alat dan Bahan

1. Alat Penelitian

Langkah awal sebelum memulai pengujian adalah perlu mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Proses persiapan ini dilakukan dengan membeli bahan yang diperlukan selama proses pembuatan benda uji sampai selesai. Langkah selanjutnya adalah mengukur seberapa banyak bahan yang akan digunakan sebagai benda uji sesuai standar uji. Dalam penelitian ini terdapat beberapa bahan dan alat serta alat K3 yang digunakan selama proses penelitian. Beberapa alat yang digunakan terdapat pada sub dibawah ini :

a. Cetakan Coran

Cetakan coran yang digunakan adalah jenis permanent mold yang terbuat dari pasir cetak atau dengan besi. Permanent mold dibuat berdasarkan jenis pola cetakan logam yaitu sebagai cetakan pembuatan spesimen uji struktur mikro, uji kekerasan, uji keausan, uji densitas, dan uji porositas dan pengecoran dengan ukuran 20cm x 2cm x 14cm.

b. Pasir Cetak

Kita gunakan untuk membuat cetakan yang juga berfungsi untuk membuat pola/model dan inti, serta menahan aliran cairan logam pada waktu dituangkan kedalam cetakan. Contoh pasir yang

digunakan dalam proses pengecoran yaitu pasir kali, pasir gunung dan pasir silika.



Gambar 3.1 Pasir Cetak

c. Tungku

Tungku (tanur) yang digunakan untuk memasak logam, dalam pengecoran. Biasanya menggunakan tungku krusibel.

d. Kowi

Kowi digunakan sebagai tempat untuk melebur, mencampur, dan menuang coran. Kowi terbuat dari baja dan diberi tangkai untuk memudahkan proses penuangan ke dalam cetakan.



Gambar 3.2 Kowi

e. Pengaduk (*stir cast*)

Digunakan untuk mencampur aluminium dengan serbuk besi sekaligus untuk membuang kerak yang terdapat pada aluminium cair.



Gambar 3.3 Pengaduk (*stir cast*)

f. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital. Timbangan ini untuk mengukur massa dari aluminium dan serbuk besi yang digunakan dalam proses pengecoran ditunjukkan.



Gambar 3.4 Timbangan Digital

g. Thermocouple

Digunakan untuk mengukur temperature aluminium cair, tembaga pada saat pengecoran.



Gambar 3.5 Thermocouple

h. Gergaji Tangan

Digunakan untuk memotong specimen hasil pengecoran menjadi beberapa bagian sesuai dengan yang dibutuhkan. Sehingga mudah untuk dilakukan pengujian.



Gambar 3.6 Gergaji Tangan

i. Alat Uji Struktur Mikro

Alat yang digunakan yaitu Mikroskop optik untuk mengamati struktur mikro dari specimen dan kemudian mengambil foto setelah mendapatkan gambar yang diinginkan menggunakan kamera.

j. Varnier Caliper

Digunakan sebagai alat bantu untuk mengukur ukuran specimen

2. Bahan yang digunakan adalah :

a. Alumunium seri A6061



Gambar 3.7 Alumunium

b. Tembaga (Cu)



Gambar 3.8 Tembaga(Cu)

3.5 Prosedur Penelitian

Bahan untuk pembuatan benda uji di ambil dari A6061 dan Tembaga, Adapun tahapan proses pengecoran untuk membuat benda uji tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan pengujian komposisi awal (*row material*) sebelum melakukan uji yang lain biar diketahui komposisi awal unsur yang terkandung pada aluminium.
- b. Kemudian melakukan pemotongan aluminium A6061 batangan menggunakan gergaji mesin hingga menghasilkan beberapa potongan A6061 batangan dengan lebar yang sudah ditentukan
- c. Setelah dipotong, A6061 kemudian ditimbang sesuai kebutuhan pengecoran yaitu kurang lebih 250 gram. Penimbangan dilakukan sebanyak 3 kali dengan 3 batang A6061 yang berbeda. Setelah itu tembaga juga ditimbang sesuai dengan variasi yang telah ditentukan, yaitu 2 wt%, 3 wt%, dan 4 wt% masing-masing dari massa 3 buah A6061 batangan yang telah ditimbang sebelumnya.
- d. Aluminium yang sudah ditimbang sesuai massa di atas dimasukkan ke dalam kowi, dan kowi dimasukkan ke dalam tungku krusibel. Sebelumnya menyiapkan cetakan yang akan sudah dibuat.
- e. Penyampuran A6061 paduan tembaga ke tungku peleburan serta melakukan pengukuran suhu menggunakan *thermocouple*.
- f. Setelah proses peleburan (pengecoran) selanjutnya melakukan penuangan ke dalam cetakan. Proses penuangan dilakukan dengan cepat dan berhati-hati untuk menghindari terjadi pembekuan setelah kowi diangkat dari tungku, setelah dituang ke dalam cetakan

- g. Setelah dituang di dalam cetakan tunggu sampai sekitar 30 menit untuk menurunkan suhu, baru setelah itu cetakan dibuka. Biarkan hasil coran dingin sesuai suhu ruangan.
- h. Setelah benda dikeluarkan dari cetakan kemudian diperlaku panaskan dengan menggunakan media air atau dengan suhu ruangan.
- i. Selanjutnya melakukan pengujian berupa uji kekerasan, uji tarik dan mikro struktur.
- j. Sampel benda uji berjumlah 9 buah.
 - 1) Uji Kekerasan = 3
 - 2) Uji Foto Mikro = 3
 - 3) Uji Tarik = 3

Table 3.2 Table Titik lebur Logam

No.	Logam dan Oksida Logam	Suhu Lebur(°C)
1.	Alumunium	667
2.	Almunium Oxide	2020-2050
3.	Tembaga	1083
4.	Besi	1535
5.	Besi Tuang Kelabu	1200
6.	Baja Karbon Rendah	1500
7.	Baja Karbon Tinggi	1300-1400
8.	Brass	850-900
9.	Zinc	419
10.	Tin Broze	850-950

3.6 Metode Analisa Data

Metode yang digunakan pada penelitian ini melakukan pengamatan dari penelitian yang telah dilakukan. Mengolah data menjadi informasi, sehingga karakteristik atau sifat – sifat data tersebut dapat dengan mudah dipahami dan bermanfaat untuk menjawab masalah – masalah yang berkaitan dengan kegiatan penelitian. Dengan demikian teknik analisa data dapat diartikan sebagai cara melaksanakan analisa terhadap data tersebut. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini meliputi, peleburan material, pencampuran material antara aluminium dengan tembaga dengan variasi yang sudah ditentukan, proses pengecoran, pembuatan sampel, dan yang terakhir proses pengujian. Alur penelitian dalam penelitian ini mulai dari study pustaka dimana peneliti mencari referensi-referensi baik dari penelitian sebelumnya ataupun mencari tinjauan pustaka sebagai acuan peneliti.

Tabel 3.3 lembar pengamatan uji mikro

No.	Spesimen	Foto Perbesaran
1.	2% Cu	

2.	3% Cu	
3.	4% Cu	

Table 3.4 Lembar pengamatan pengujian kekerasan

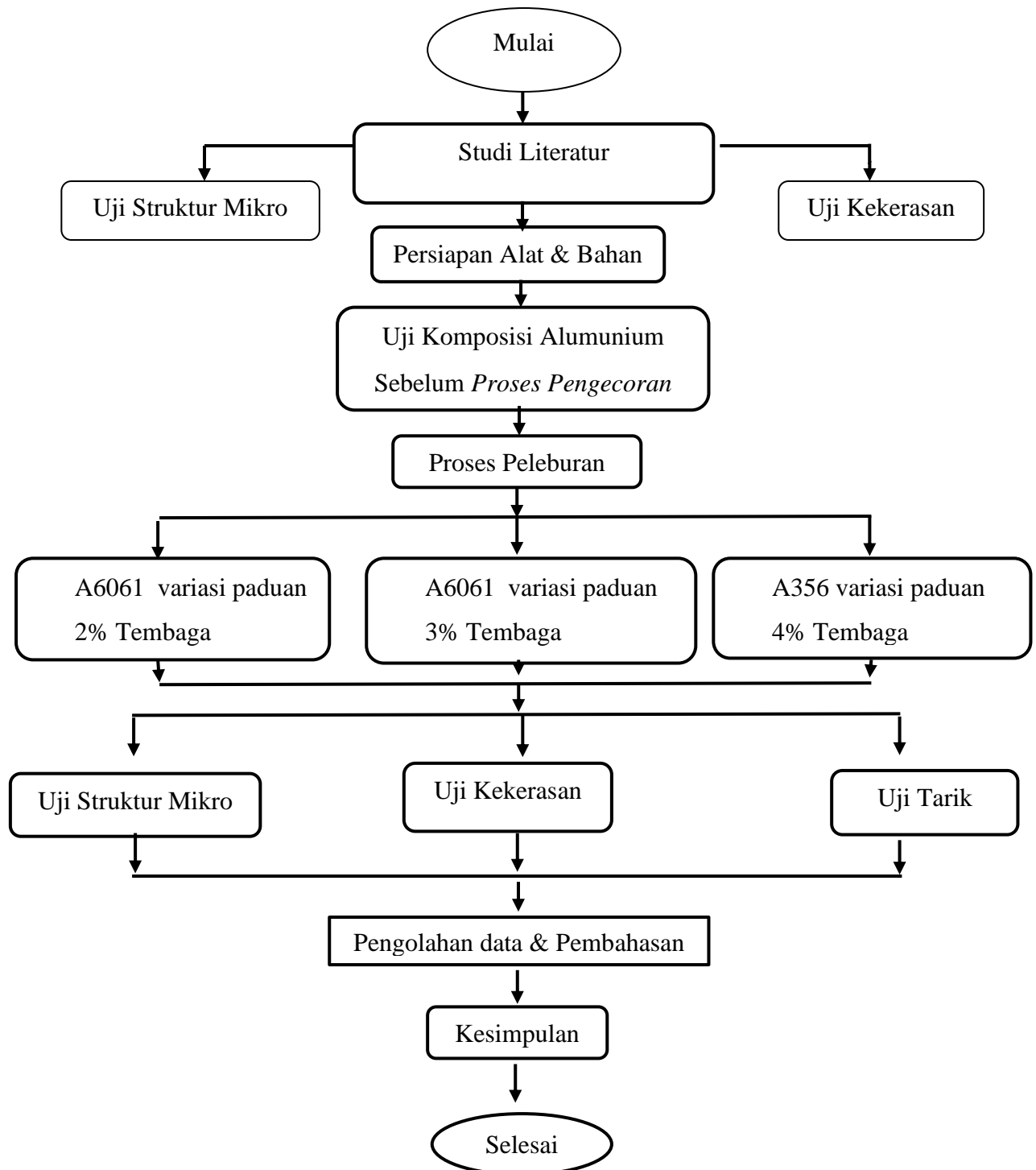
No	Daerah Uji	Spesimen	D (mm)	d (mm)	F (N)	Nilai Kekerasan Vickers $VHN = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1.854P}{d^2}$
1	Titik 1	Sepatu Rem				
	Titik 2					
	Titik 3					
Nilai Rata-Rata						
2	Titik 1	2% Cu				
	Titik 2					
	Titik 3					
Nilai Rata-Rata						
3	Titik 1	3%				
	Titik 2					

	Titik 3					
Nilai Rata-Rata						
4	Titik 1	4%				
	Titik 2					
	Titik 3					
Nilai Rata-Rata						

Tabel 3.5 Lembar pengamatan uji Tarik

Specimen	D ₀ ² (mm)	A ₀ (mm ²) $A_0 = \frac{\pi}{4} D_0^2$	P _{max} (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²) $\sigma = \frac{P_{max}}{A_0}$	
				(N/mm ²)	(Kg/mm ²)
2% Cu					
Rata-Rata					
3% Cu					
Rata-Rata					
4% Cu					
Rata-Rata					

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram alir penelitia

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini menghasilkan data-data yang berupa angka dalam tabel, gambar, foto, dan grafik. Data yang dihasilkan meliputi sifat mekanik yang digunakan dalam penelitian melalui pengamatan hasil pengujian kekerasan, tarik dan pengujian mikrostruktur

1. Hasil Uji Komposisi Sepatu Rem

Untuk mencapai tujuan penelitian pada handle rem, maka dilakukan uji komposisi bahan untuk mengetahui unsur apa saja yang terkandung pada sepatu rem dan seberapa banyak prosentase yang terkandung dari masing masing unsur.

Table 4.1 Tabel Komposisi Kimia Sepatu Rem

Sumber (LIK Tegal)

Unsur	Chemical Composition (%)		Test Result (%)
	n1	n2	
Si	10,92	10,82	10,87
Fe	1,04	1,00	1,02
Cu	2,01	1,96	1,99
Mo	0,22	0,20	0,21
Mg	0,09	0,10	0,09
Ni	0,09	0,08	0,09
Zn	0,79	0,77	0,78
Pb	0,07	0,06	0,06
Sn	<0,01	<0,01	<0,01
Al	84,4	84,4	84,6

2. Hasil Uji kekerasan

Untuk pengujian kekerasan disini menggunakan parameter uji kekerasan *vickers*(VHS) dan standar uji ASTM D638-1 dengan beban penekan sebesar 20 kgf,. Pengujian menggunakan universal hardness tester. Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik nilai kekerasan yang terkandung dalam spesimen. Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan di LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL UNIVERSITAS GAJAHMADA YOGYAKARTA.

Sumber :Laboratorium Material UGM

Dalam penelitian ini menggunakan rumus sebagai berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1.854P}{d^2}$$

Keterangan : P = beban yang diterapkan (kgf)

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan 136^0

D = panjang diagonal rata-rata (mm)

d = panjang diagonal 1 (mm)

d = panjang diagonal 2 (mm)

No	Sampel Uji	Hasil Nilai Kekerasan		Nilai rata-rata kekerasan
		Daerah Uji	Nilai Kekerasan	
1	Sepatu Rem (orisinil)	Titik 1	66,8	67,5
		Titik 2	64,7	
		Titik 3	71	
2	Al 6061 (Raw Material)	Titik 1	62,97	60,37
		Titik 2	60,07	
		Titik 3	58,07	

Tabel 4.2 Tabel Uji Kekerasan Spesimen

Variasi Perlakuan	Titik Ui	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
Aluminium + Tembaga 2%	1	0,76	0,77	0,77	63,36
	2	0,79	0,78	0,79	60,17
	3	0,78	0,78	0,78	60,95
Rata-rata					61,49
Aluminium + Tembaga 3%	1	0,81	0,78	0,80	58,67
	2	0,80	0,80	0,80	57,94
	3	0,76	0,77	0,77	63,36
Rata-rata					59,99
Aluminium + Tembaga 4%	1	0,73	0,74	0,74	68,64
	2	0,75	0,75	0,75	65,92
	3	0,75	0,76	0,76	65,05
	Rata-rata				66,53

1. Perhitungan Al + Cu 2%

Specimen 1

$$VHN = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1.854 P}{d^2}$$

Diketahui :

P = 20 kgf

d² = 0,77

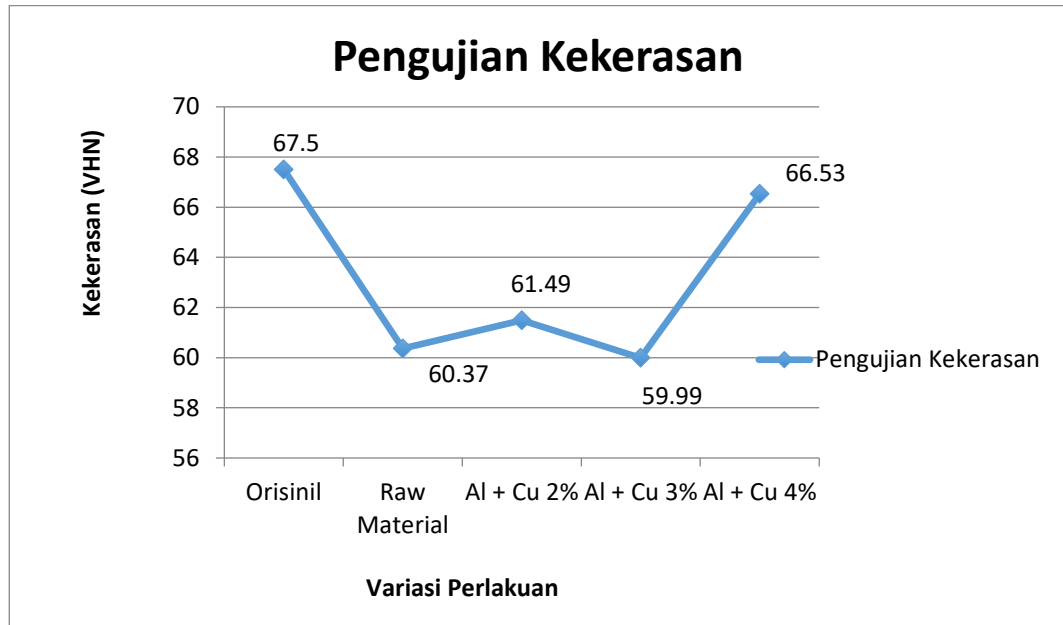
ditanya : VHN ?

$$VHN = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1.854 P}{d^2}$$

$$= \frac{1.854 \times 20}{0,77^2}$$

$$= \frac{37,08}{0,592}$$

$$= 63,367 \text{ VHN}$$



Gambar 4.1 Variasi penambahan Cu pada unsure Al paduan

Grafik diatas menunjukkan hasil pengujian kekerasan pada pengecoran aluminium (6061) dipadukan dengan tembaga sebesar (2%, 3%, 4%). Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa spesimen orisinil memiliki nilai kekerasan sebesar 84,3 VHN, aluminium tipe Al6061 memiliki nilai kekerasan 60,37 VHN. Kemudian terjadi pengaruh yang signifikan antara spesimen orisinil dengan campuran 2% yaitu terjadi peningkatan menjadi 61,49 VHN. Sedangkan pada spesimen dengan campuran 3% mengalami penurunan. Adapun nilai kekerasan dari variasi 3% yaitu sebesar 59,99 VHN, kemudian pada spesimen dengan campuran 4% mengalami kenaikan yaitu sebesar 66,53 VHN.

Berdasarkan kekuatan hasil uji kekerasan diatas maka spesimen yang memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu pada variasi campuran 4% yaitu sebesar 66,53 VHN. dan untuk nilai kekerasan terendah adalah pada spesimen 3% 59,99 VHN.

3. Hasil Uji Tarik

Table 4.3 Tabel Hasil Pengujian Tarik

HASIL PENGUJIAN TARIK									
No.	VariasiPerlakuan	Diameter (mm)	A₀(mm²)	Pmax (KN)	Pmax (N)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa) $\sigma = \frac{P}{A_0}$	Regangan (%)	Rata-rata Tegangan (MPa)
1	Aluminium+Cu 2%_1	9.98	78.18	7.40	7400	0.91	94,65	1.82	100,6
2	Aluminium+Cu 2%_2	10.25	82.47	8.50	8500	0.80	103.06	1.60	
3	Aluminium+Cu 2%_3	10.15	80.87	8.42	8420	0.79	104.11	1.58	
4	Aluminium+Cu 3%_1	9.82	75.69	6.26	6260	0.92	82.70	1.84	87,30
5	Aluminium+Cu 3%_2	10.33	83.75	8.05	8050	0.56	96.10	1.12	
6	Aluminium+Cu 3%_3	10.08	79.75	6.63	6630	0.76	83.12	1.52	
7	Aluminium+Cu 4%_1	10.07	79.59	9.85	9850	0.20	123.74	0.40	75,14
8	Aluminium+Cu 4%_2	10.13	80.54	2.82	2820	0.65	35.01	1.30	
9	Aluminium+Cu 4%_3	9.91	77.08	5.14	51400	0.36	66.67	0.72	

No	Material	Tegangan (MPa) $\sigma = \frac{P}{A_0}$	Regangan (%)	Rata-rata Tegangan (MPa)
1	Raw Material	153,01	2,91	152,26
		147,78	4,12	
		156,00	3,09	

A. Menghitung Kekuatan Tarik

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Dimana : σ = tegangan (N/mm²)

P = beban (N)

A₀ = luas penampang (mm²)

1. Aluminium+Tembaga 2% Spesimen 1

$$\text{Luas Penampang} = 0,25 \times \pi \times D^2$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 9,98^2$$

$$= 0,785 \times 99,600$$

$$= 78,186 \text{ mm}^2$$

Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L \times 100}{L_0}$$

$$= \frac{0,91 \times 100}{50}$$

$$= 1,82$$

Nilai Kuat Tarik

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

$$= \frac{7400 \text{ (N)}}{78,186(\text{mm}^2)}$$

$$\sigma = 94,65 \text{ Mpa}$$

2. Aluminium+Tembaga 3%

$$\text{Luas Penampang} = 0,25 \times \pi \times D^2$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 9,82^2$$

$$= 0,785 \times 96,432$$

$$= 75,699 \text{ mm}^2$$

Regangan

$$\epsilon = \frac{\Delta L \times 100}{L_0}$$

$$= \frac{0,92 \times 100}{50}$$

$$= 1,84$$

Nilai Kuat Tarik

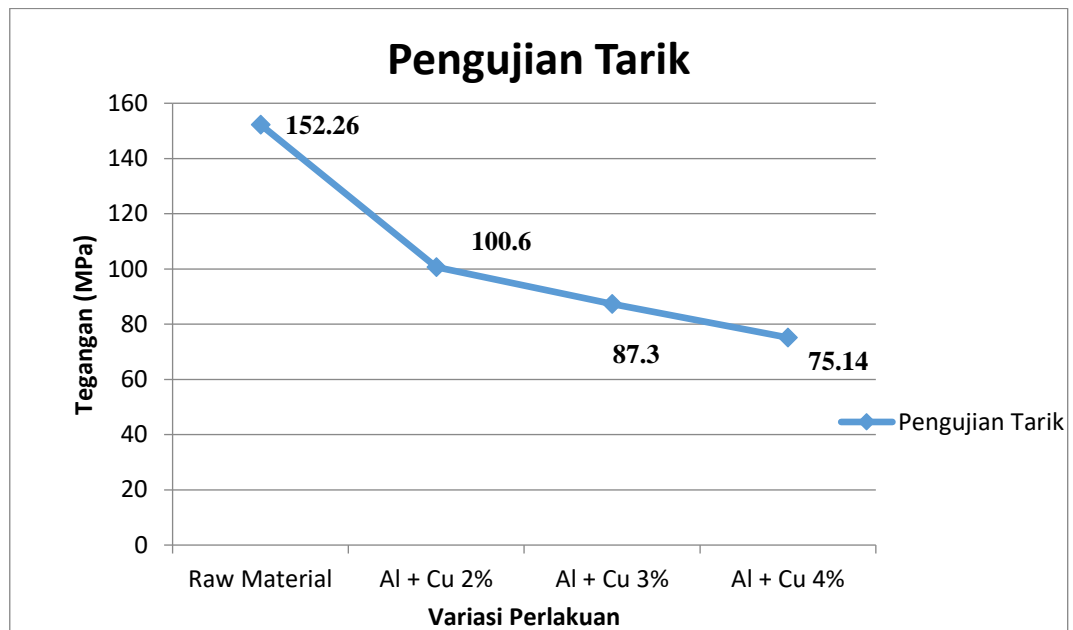
$$\sigma = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

$$= \frac{6260 \text{ (N)}}{75,699(\text{mm}^2)}$$

$$\sigma = 82,73 \text{ Mpa}$$

$$= \frac{9850 \text{ (N)}}{(89,874\text{mm}^2)}$$

$$\sigma = 94,65 \text{ Mpa}$$



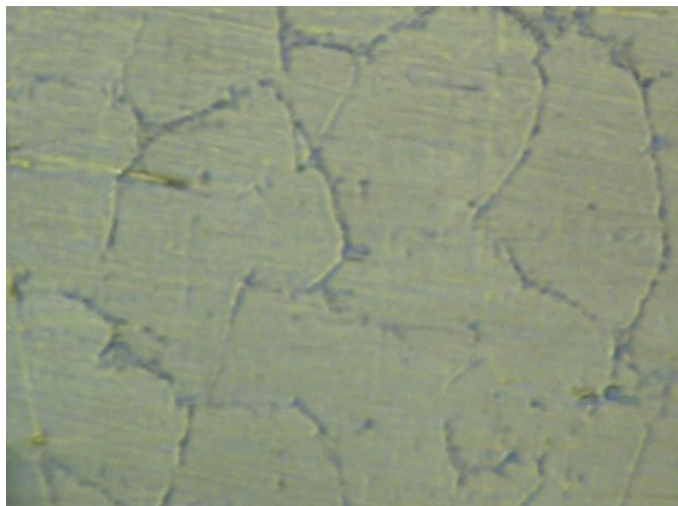
Gambar 4.2 Variasi penambahan Cu pada unsure Al paduan

Grafik diatas menunjukkan hasil pengujian tarik pengecoran aluminium (6061) dipadukan dengan tembaga sebesar (2%, 3%, 4%). Harga tarik mengalami penurunan pada tiap-tiap penambahan Cu, harga trik ttertinggi diperoleh pada penambahan Cu 2% yaitu 101 Mpa, dan harga tarik terendah diperoleh pada penambahan Cu 4% yaitu 75 Mpa. Salah satu penyebab menurunnya kekuatan tarik pada aluminium tembaga coran adalah kerak atau kotoran yang terdapat pada paduan aluminium tersebut

4. Pengujian Foto Mikro

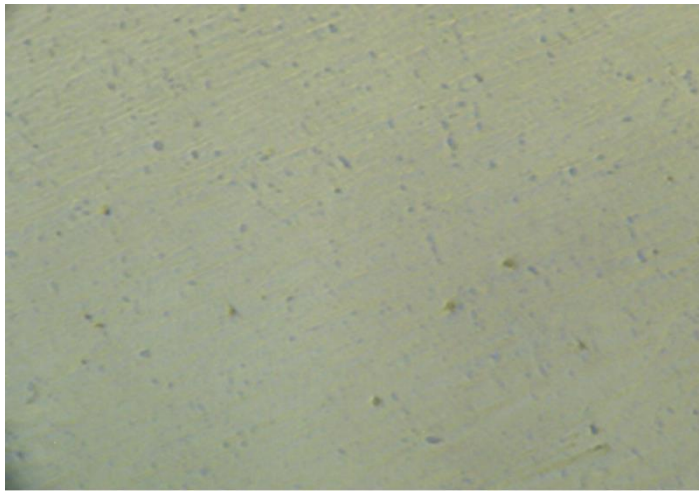
Pengamatan sruktur mikro bertujuan untuk mengetahui dan membedakan struktur mikro antara sepatu rem sepeda motor dan perbedaan jenis paduan. Pengamatan dilakukan setelah dilakukan pengecoran dengan paduan variasi 2%. 3% dan 4% Tembaga. Jenis

cetakan pengecoran berupa cetakan logam. Proses pengamatan struktur mikro diawali dengan mengamplas menggunakan kertas amplas mulai dari grade 500, 800, 1000, 2000, sampai pada grade 5000. Sempel uji telah mengalami pemolesan, maka permukaan specimen diberi larutan *pro analysi fluosulfuric acid* 40% dan *hydrofluoric acid* 40% selama kurang lebih 30 detik kemudian dibersihkan dengan menggunakan kain bersih. Tahap akhir memasang pembesaran lensa objektif, kemudian diatur fokusnya dan specimen difoto dengan pembesaran sebesar 200 kali. Berikut ini adalah hasil pengujian struktur mikro yang dilakukan di Lab. Bahan FT UGM Yogyakarta yang dilampirkan gambar di bawah:



Gambar 4.3 Hasil foto mikro sepatu rem sepeda motor. Dengan pembesaran (200x)

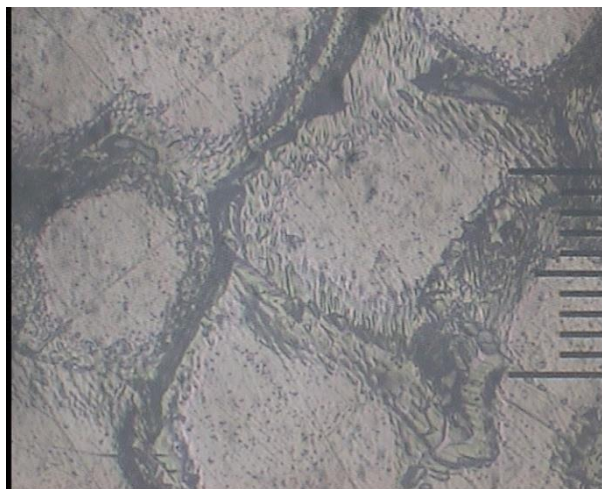
Hasil dari foto mikro sepatu rem orisinil yaitu kandungan aluminium yang cukup dominan disini tidak terlalu banyak unsure kimia yang terkandung dalam produk sepatu rem orisinil pabrik.



Gambar 4.4 Hasil foto mikro raw matrial

Dari hasil foto mikro raw material atau aluminium jenis Al6061 terlihat tidak terlalu banyak unsure kimia yang terkandung di dalamnya, aluminium jenis ini memiliki kandungan aluminium murni sebesar 97,9%

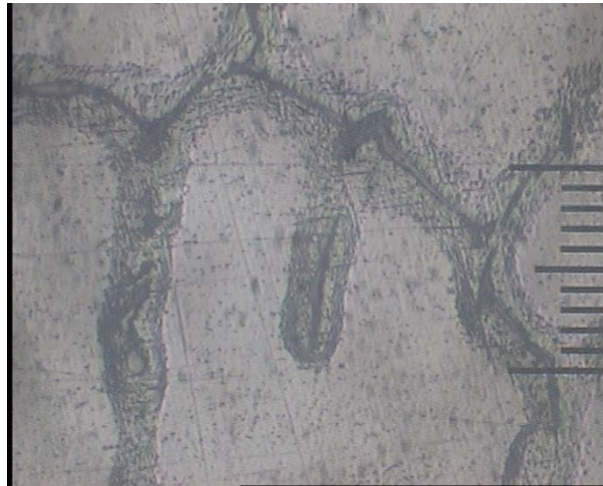
Tembaga



Gambar 4.5 Hasil foto mikro Al+Cu 2% perbesaran 200x

Kandungan tembaga yang terdapat pada pencampuran Al+Cu 2% tidak terlalu banyak, itu ditunjukkan pada foto mikro aluminium dan tembaga kurang menyatu

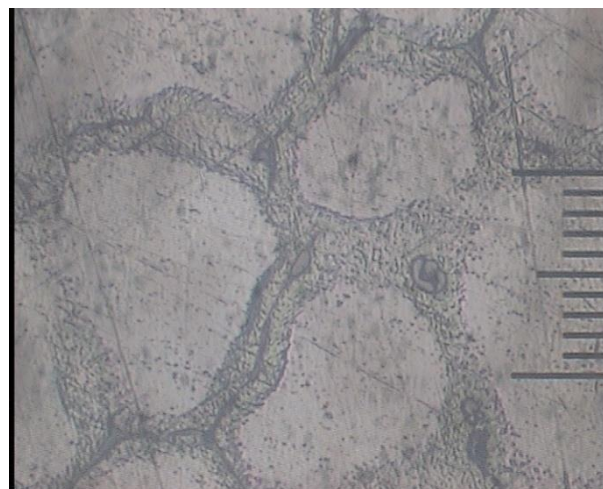
Tembaga



Gambar 4.3 Hasil foto mikro Al+Cu 3% perbesaran 200x

Hasil foto mikro pada pencampuran aluminium+Cu 3% cukup merata karena aluminium dengan tembaga yang menyatu dengan baik

Tembaga



Gambar 4.3 Hasil foto mikro Al+Cu 4% perbesaran 200x

Struktur mikro pada aluminium paduan 4% tembaga terbentuk dengan baik karena tembaga tercampur dengan sempurna. terlihat dari struktur mikro yang terbentuk dengan padat dan lebih jelas.

4.2 Pembahasan

Dari hasil penelitian di atas maka dilakukan uraian pembahasan sebagai berikut :

1. Dari hasil uji komposisi di atas, maka dapat diklarifikasikan material sepatu rem dengan kandungan tembaga 1,99%
2. Dari hasil pengujian kekerasan nilai kekerasan sepatu rem orisinil 84,3 VHN, kemudian nilai kekerasan raw material Al6061 60,37 VHN. Dan didapatkan kenaikan tingkat nilai kekerasan pada variasi campuran tembaga 4% yaitu 66,49 VHN sedangkan pada variasi 2% mengalami kenaikan sebesar 61,49 VHN dan pada variasi 3% mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 59,99 dapat disimpulkan untuk nilai kekerasan dipengaruhi oleh variasi campuran tembaga, dimana variasi campuran tembaga menjadi faktor yang berpengaruh untuk meningkatkan kekerasan pada material aluminium. Uji kekerasan adalah pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanik suatu material.

3. Dari hasil pengujian kekuatan tarik di dapatkan nilai kekuatan tarik pada campuran tembaga 2% 100,6 MPa, sedangkan pada campuran tembaga 3% mengalami penurunan kekuatan tarik sebesar 87,30 MPa, dan pada campuran arang sekam padi 4% memiliki kekuatan tarik sebesar 75,14 MPa, untuk pengujian kekuatan tarik yang paling besar adalah variasi campuran tembaga 2%.
4. Dari hasil pengujian mikro struktur diatas sepatu rem orisinil memiliki tingkat kepadatan yang sedang dapat dilihat dari warna hitam yang ada dipermukaan. Pada raw material tidak terlalu banyak memiliki unsure kimia karena kandungan aluminium yang cukup dominan. Pada paduan Al-Cu variasi 2% dan 3% memiliki kepadatan unsure tembaga yang cukup merata. Sedangkan untuk specimen dengan variasi 4% merupakan specimen dengan tingkat kepadatan tertinggi dibandingkan specimen lain. Penambahan paduan Cu (2%, 3% dan 4%) pada aluminium paduan mengakibatkan adanya perubahan yang dapat mempengaruhi kekerasan dan struktur mikro pada paduan tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada sepatu rem dapat disimpulkan bahwa pengujian dan evaluasi data serta pembahasan pada proses pengecoran aluminium dengan variasi campuran 2% 3% dan 4% maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian kekerasan pada sepatu rem orisinal 67,5 VHN. Dan pada pembuatan sepatu rem tipe Al6061 dengan penambahan tembaga variasi 2% 3% 4% nilai uji kekerasan yang paling tinggi yaitu pada variasi 4% sebesar 66,53 VHN. Pada variasi 2% memiliki nilai kekerasan 61,49 VHN, sedangkan nilai uji kekerasan terendah pada variasi 3% yaitu sebesar 59,99 VHN.
2. Pada pembuatan sepatu rem dengan tipe Al 6061 dengan variasi Cu 2% memiliki kekuatan tarik terbesar yaitu 100,6 MPa sedangkan pada variasi 3% kekuatan tarik yang diperoleh sebesar 87,30 MPa dan kekuatan tarik terendah pada variasi 4% yaitu sebesar 74,14 MPa.
3. Untuk pengaruh pada struktur mikro dapat disimpulkan dilihat dari segi kerataan permukaan semakin tinggi variasi yang digunakan maka akan semakin padat struktur permukaan specimen. Pada specimen orisinal permukaan warna hitam tingkat kepadatan yang sedang, untuk specimen dengan paduan variasi 2% 3% 4% Rata-rata memiliki warna

hitam yang cukup merata. Variasi Al-Cu 4% memiliki kepadatan struktur yang cukup baik dan merata.

4. Jadi kesimpulan dalam penelitian ini yaitu terjadi penurunan pada nilai kekerasan pada aluminium tipe A6061 paduan tembaga sebesar 2% dan 3% sedangkan pada paduan 4% hampir mendekati nilai kekerasan dari sepatu rem orisinil. Nilai kekerasan pada sepatu rem orisinil lebih baik dibandingkan dengan nilai kekerasan pada penelitian ini. Sehingga jika penambahan tembaga semakin banyak nilai kekerasan yang di hasilkan akan semakin tinggi. Sedangkan pada nilai kekuatan tarik pada sepatu rem mengalami penurunan yang cukup signifikan dari sepatu rem orisinil.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah di lakukan untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang maksimal, maka disarankan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan jenis variasi penambahan variable tembaga 5%, 6% dan seterusnya karena jika penambahan tembaga semakin banyak nilai kekerasan akan semakin meningkat.
2. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan menambahkan perlakuan panas (*heat treatment*) untuk memperbaiki sifat-sifat dari logam dan sifat mekanik yang lebih baik

3. Untuk peneliti selanjutnya adanya penambahan pengujian sehingga untuk peneliti selanjutnya tidak hanya menjurus pada sifat mekanik saja tapi juga kepada sifat fisis material. .
4. Dalam hal ini penggunaan cetakan logam perlu dipanaskan terlebih dahulu sebelum dilakukan penuangan yang bertujuan untuk memperlambat proses pembekuan pada alumunium cair yang sudah di tuangkan kedalam cetakan, untuk pengecoran alumunium di gunakan cetakan logam agar permukaan yang sangat halus, walaupun memiliki nilai porositas yang tinggi, ini cocok digunakan untuk produk alumunium degan beban kerja.
5. Pemanfaatan hasil penelitian Al 6061 dengan pembedaan pabrik masih lebih bagus pabrik, tapi kelebihan produk ini jika pembuatan Al dengan tipe 6061 harga lebih terjangkau jika di jadikan sepatu rem.
6. Untuk pembuatan sepatu rem motor logam yang baik di gunakan adalah Al jenis ADC 12/ Al murni.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook*, 1992, *Metallography and Microstructures*, Volume 9, ASM International.
- ASM Handbook*, 1992, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*, Volume 2, ASM International.
- ASM Handbook*, 1992, *Metallography and Microstructures*, Volume 9, ASM International.
- Ahmadi, N 2002, pengaruh pengecoran batang torak dari aluminium paduan Al-Cu-Ni dengan cetakan pasir dan cetakan logam terhadap kekerasan dan kekuatan tarik.
- Dieter*, 1933; 330 . Teori dan Rumus Perhitungan Pengujian Kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*.
- Davis, J.R., *Aluminium and Aluminium Alloy*, Ohio,: ASM International 1994.
- Didit Panji Imriawan, Tofik Hidayat, M. Agus Sidiq, 2019. Analisa sifat mekanik hasil pengecoran Impeller pompa air menggunakan paduan Kuningan, Tembaga dan Aluminium. Jurnal. Universitas Pancasakti Tegal.
- Hari utama, 2009, Pengaruh Penambahan Cu Sebesar 1%, 3%, dan 5% Pada Aluminium Dengan Solution *Heat Treatment* Pada Sifat Fisik Dan Mekanik.
- Kiryanto, Eko Samito Hadi dan Muhamad Ansori, 2012. Struktur mikro dan sifat mekanis aluminium (Al-Si) pada proses pengecoran menggunakan cetakan logam, cetakan pasir dan cetakan castable. Jurnal. Universitas Diponegoro Semarang.

- Mirnawati Dewi, Dr.Eng, 2018. Jurnal Studi Mikrostruktur dan Sifat Mekanik Aluminium 6061 Melalui Proses Canai Dingin dan Angin.
- Mugiono, Lagiyo, Rusnoto, 2013. pengaruh penambahan Mg terhadap sifat kekerasaann dan kekuatan impek serta struktur mitro pada paduan AlSi berbasis material piston bekas. Jurnal. Universitas Pancasakti Tegal.
- Pandu, Athanasius, 2016. Pengaruh penambahan unsure tembaga (Cu) terhadap sifat fasis dan mekanis material *CHASIS* berbahan dasar limbah aluminium hasil pengecoran HDPC yang disertai perlakuan panas (*HEAT TREATMENT*). Tersedia di: <https://scholar.google.com>. diakses 31 oktober 2020
- Roziqin, 2012, Pengaruh Model Sistem Saluran Pada Proses Pengecoran Aluminium Daur Ulang Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan coran Puli Diameter 76 mm Dengan Cetakan Pasir. Jurnal. Univesitas Wahid Hasyim.
- Rusnoto, 2014, “Studi Sifat Mekanik Paduan Al-Si Pada Piston Bekas Dengan Penambahan Magnesium (Mg)”.Laporan Penelitian Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal
- Samyono, Drajat. 2012. Analisis Pengaruh Temperatur Aging Terhadap Nilai Kekerasan Paduan Aluminium AA 356 Hasil Proses Casting. Laporan Penelitian Teknik Mesin Universitas PancasaktiiiTegal
- Soleh Setyawan, 2006, Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga (Cu) Dan Jenis Cetakan Pada Proses Pengecoran Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Alumunium Silikon (Al-Si). Tersedia di: <https://scholar.google.com>. diakses 20 oktober 2020.
- Surdia dan Saito, S., 1992, “ Pengetahuan bahan teknik”, P.T. Pradnya Paramitha, Jakarta, pp. 135.

- Samsudi Raharjo, Analisa pengaruh Pengecoran Ulang Terhadap Sifat Mekanik ADC 12, Jurnal, Seminar Nasional Sains (Universitas Muhamadiyah Semarang). 2011
- Sugeng Slamet, 2018, Pengaruh Tekanan Dan Temperature Tuang Paduan Al-Cu Terhadap Sifat Mekanik Sepatu Rem
- Standar Nasional Indonesia, SNI 07-0371-1998, “Batang Uji Tarik untuk Bahan Logam”, Badan Standarisasi Nasional, Indonesia.
- Solechan. (2010). Studi Pembuatan Prototipe Material Piston Menggunakan Limbah Piston Bekas dan ADC 12 yang Diperkuat Dengan Insert ST 60 dan Besi Cor. Tesis Program Pascasarjana UNDIP. Semarang. Universitas Diponegoro Semarang.
- Subardi, Sutrisno, Sumanto. Pengaruh Penambahan Unsur Tembaga (Cu) Pada Aluminium (Al) Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro. Jurnal Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta: Yogyakarta.
- Tata Surdia, 2014, Cetakan permanen (*die casting*), Logam Ceper, Yogyakarta. *Mechanical Blog*. Pengecoran Presisi Atau Pengecoran *Investment*, <https://yefrichan.wordpress.com/2011/05/07/pengecoran-presisi-atau-pengecoran-investment/> diakses 20 oktober 2020

Lampiran Gambar

Gambar 1 : Sepatu Rem Sepeda Motor



Gambar 2 : Aluminium 6061



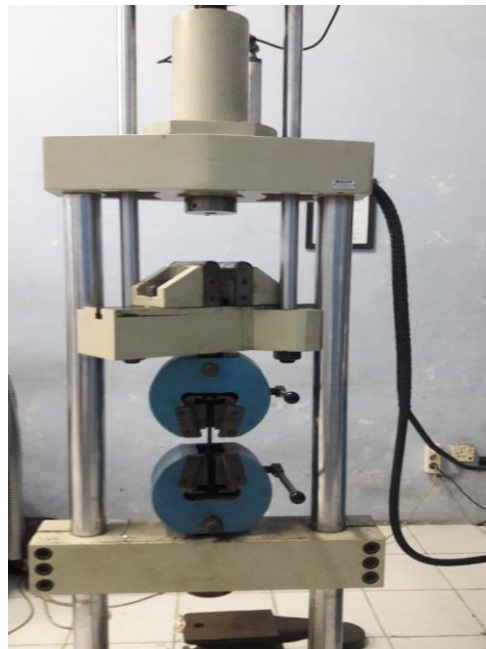
Gambar 3 : Proses penuangan cairan kedalam cetakan



Gambar 4 : Mesin Uji Kekerasan



Gambar 5 : Mesin uji tarik



Gambar 6 : Mesin uji struktur mikro



Gambar 7 : Spesimen uji tarik



Gambar 8 : Spesimen uji kekerasan



Gambar 9 : Spesimen uji mikro struktur





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

Variasi Perlakuan	Titik Uji	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
Aluminium + Tembaga 2%	1	0,76	0,77	0,77	63,36
	2	0,79	0,78	0,79	60,17
	3	0,78	0,78	0,78	60,95
Aluminium + Tembaga 3%	1	0,81	0,78	0,80	58,67
	2	0,80	0,80	0,80	57,94
	3	0,76	0,77	0,77	63,36
Aluminium + Tembaga 4%	1	0,73	0,74	0,74	68,64
	2	0,75	0,75	0,75	65,92
	3	0,75	0,76	0,76	65,05

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 30 Januari 2021
2. Pengujian menggunakan universal hardness tester
3. Pembebanan menggunakan 20 kgf



Identitas Penguji :

Nama : Husni Fauzan
 NPM : 6416500046
 Institusi : Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal

Lembar asli, tidak untuk digandakan



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Variasi Perlakuan	Diameter (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	Aluminium+Tembaga 2%_1	9,98	7,40	0,91	94,65	1,82
2	Aluminium+Tembaga 2%_2	10,25	8,50	0,80	103,06	1,60
3	Aluminium+Tembaga 2%_3	10,15	8,42	0,79	104,11	1,58
4	Aluminium+Tembaga 3%_1	9,82	6,26	0,92	82,70	1,84
5	Aluminium+Tembaga 3%_2	10,33	8,05	0,56	96,10	1,12
6	Aluminium+Tembaga 3%_3	10,08	6,63	0,76	83,12	1,52
7	Aluminium+Tembaga 4%_1	10,07	9,85	0,20	123,74	0,40
8	Aluminium+Tembaga 4%_2	10,13	2,82	0,65	35,01	1,30
9	Aluminium+Tembaga 4%_3	9,91	5,14	0,36	66,67	0,72

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 30 Januari 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM D638-1



Identitas Penguji :

Nama : Husni Fauzan
 NPM : 6416500046
 Institusi : Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal



DINAS PERINDUSTRIAN DAN TENAGA KERJA
KABUPATEN TEGAL
UPTD LABORATORIUM PERINDUSTRIAN
Komplek LIK Takaru Jl. Raya Dampyak KM 4 Tegal Telp/Fax : (0283) 357437
Email : labperintgl@gmail.com website : lab.disperinnaker.tegalkab.go.id

LAPORAN UJI KOMPOSISI KIMIA

Laporan No. : 11/2020.416/S/93
Pemakai Jasa : HUSNI FAUZAN
Alamat : Univ. Pancasila Tegal
Suhu : 25 °C
Tgl. Terima : 9 November 2020
Tgl. Pengujian : 9 November 2020

Benda Uji : Sesuai Produk
Objek uji : Kampas Rem
Metode Uji : ASTM E 1251-11
Mesin Uji : Spectrotest TXC03
Jml. Specimen : 1 Pcs
Halaman : 1 dari 2

HASIL UJI :

Unsur	Chemical Composition (%)		Test Result (%)
	n ₁	n ₂	
Si	10,92	10,82	10,87
Fe	1,04	1,00	1,02
Cu	2,01	1,96	1,99
Mo	0,22	0,20	0,21
Mg	0,09	0,10	0,09
Ni	0,09	0,08	0,09
Zn	0,79	0,77	0,78
Pb	0,07	0,06	0,06
Sn	<0,01	<0,01	<0,01
Al	84,4	84,8	84,6

Tegal, 10 November 2020
Manajer Teknis
UPTD
LABORATORIUM PERINDUSTRIAN
EKO SUPRIYANTO, ST.
NIP. 197412312006041093

PERHATIAN :
1. Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk benda uji yang diuji
2. Tidak dipergunakan untuk pengambilan laporan pengujian ini kecuali seluruhnya tanpa persetujuan tertulis dari UPTD Laboratorium Perindustrian Disperinnaker Kab. Tegal Kabupaten Tegal